

**DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LA  
VIGA PRINCIPAL DE UN PUENTE GRUA**

**DAVID MUÑOZ YUNDA**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA Y MECANICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECANICA  
SANTIAGO DE CALI  
2013**

**DISEÑO DE UN PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO Y SELECCIÓN DE LA  
VIGA PRINCIPAL DE UN PUENTE GRUA**

**DAVID MUÑOZ YUNDA**

**Pasantía para optar al título de Ingeniero Mecánico**

**Director  
EMERSON ESCOBAR NÚÑEZ  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE OCCIDENTE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE ENERGETICA Y MECANICA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECANICA  
SANTIAGO DE CALI  
2013**

**Nota de aceptación:**

**Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniero Mecánico.**

**EDIGUER ENRIQUE FRANCO**

**Jurado**

**MIGUEL ÁNGEL HIDALGO**

**Jurado**

**Santiago de Cali, 6 de Marzo de 2013**

Dedicatoria a todos los que me ayudaron en mí desarrollo de la carrera.

A mi madre Elizabeth Yunda Sierra quien ha estado conmigo a lo largo de todas las etapas de mi vida, dándome apoyo en todos los sentidos.

A mis hermanos que siempre estuvieron conmigo en todo el desenlace de esta meta.

Por su apoyo brindado y su constante esfuerzo que de una u otra forma me ayudo a mi realización como Ingeniero Mecánico.

Además, doy gracias a Dios por permitirme realizar y culminar este proyecto.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al director de mi proyecto, profesor Emerson Escobar Núñez, docente de la facultad, por su apoyo y acompañamiento a lo largo del proyecto.

Al gerente Duberly Mosquera por brindarme la oportunidad de desarrollar el presente proyecto en su empresa, IMK S.A.S., gracias a Javier Mosquera por sus recomendaciones y asesorías brindadas.

Agradecimientos al ingeniero Jesús Eduardo Moreno Gafaro por sus valiosos aportes en el cálculo de estructuras metálicas.

Agradezco también a todas las personas que de una u otra forma hicieron posible este trabajo, con su colaboración y aportes.

## CONTENIDO

	Pág.
<b>RESUMEN</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>18</b>
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>22</b>
2.1. GENERALIDADES DEL PUENTE GRÚA.	22
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>26</b>
<b>4. OBJETIVOS</b>	<b>27</b>
4.1. OBJETIVO GENERAL	27
4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	27
<b>5. MARCO TEORICO</b>	<b>28</b>
5.1. ANTECEDENTES	28
5.2. PRINCIPIO PARA EL DIMENSIONAMIENTO	29
5.2.1. Fuerzas Exteriores.	29
5.2.1.1. Fuerzas principales.	29
5.2.1.2. Fuerzas secundarias.	29
5.2.2. Esfuerzos admisibles.	31
5.2.2.1. Caso 1: Solicitación de las fuerzas principales.	32
5.2.2.2. Caso 2: Solicitación por las fuerzas principales y secundarias.	32
5.2.3. Calculo de los Esfuerzos Máximos Efectivos	32
5.2.3.1. Generalidades	32
5.3. EL PROYECTO DE LAS ESTRUCTURAS DE LAS MÁQUINAS DE ELEVACIÓN	35
5.3.1. Viga de alma llena unida por remaches	36
5.3.1.1. Parámetros recomendados para el proyecto:	38
5.3.1.2. Cálculo de la sección de la viga:	38
5.4. PUENTE GRÚA	40
5.4.1. Suposición sobre la carga y el peso propio	40
5.4.2. La viga de perfil laminado	45
5.4.2.1. Cálculo de la viga principal	45
5.4.3. Viga de plancha de alma llena	50
5.5. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA VIGA, MÉTODO LRFD.	53
5.5.1. Límite de resistencia por cedencia	55
5.5.2. Inestabilidad por pandeo local	56
5.5.3. Vigas compactas	57
5.5.4. Vigas no compactas	58
5.5.5. Vigas esbeltas	60

<b>6.</b>	<b>PROCESO DE CALCULO DE LA VIGA PRINCIPAL</b>	<b>62</b>
<b>6.1.</b>	<b>VIGA DE PERFIL LAMINADO</b>	<b>63</b>
<b>6.1.1.</b>	<b>Análisis de la viga de perfil laminado por elementos finitos en Ansys.</b>	<b>68</b>
<b>6.2.</b>	<b>VIGA DE ALMA LLENA DOBLE</b>	<b>72</b>
<b>6.2.1.</b>	<b>Análisis de la viga de alma llena doble por elementos finitos en Ansys</b>	<b>75</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>78</b>
<b>8.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>79</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>80</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>82</b>

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1 Presión dinámica del viento	30
Cuadro 2 Coeficiente de forma C	30
Cuadro 3 Esfuerzos Admisibles (kg/cm <sup>2</sup> )	31
Cuadro 4 Condiciones de funcionamiento de la maquina	33
Cuadro 5 Clasificación de las máquinas de elevación	34
Cuadro 6 Coeficiente de corrección	35
Cuadro 7 Coeficiente de choque	35
Cuadro 8 Relaciones ancho/espesor para elementos comprimidos no rigidizados	60
Cuadro 9 Relaciones ancho/espesor para elementos comprimidos rigidizados	61



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<b>Figura 1</b> <b>Puente grúa monorraíl</b>	<b>18</b>
<b>Figura 2</b> <b>Puente grúa birraíl</b>	<b>19</b>
<b>Figura 3</b> <b>Puente grúa suspendido</b>	<b>20</b>
<b>Figura 4</b> <b>Grúas de consola monorraíl</b>	<b>21</b>
<b>Figura 5</b> <b>Puente grúa de 100 toneladas de fuerza portante</b>	<b>23</b>
<b>Figura 6</b> <b>Puente grúa a mano de una sola viga (Achiess A. G., Dusseldorf)</b>	<b>24</b>
<b>Figura 7</b> <b>Vigas de perfil laminado sin pasarela de servicio.</b>	<b>24</b>
<b>Figura 8</b> <b>Vigas de perfil laminado con pasarela de servicio.</b>	<b>25</b>
<b>Figura 9</b> <b>Viga de cajón con pasarela de servicio montada en voladizo.</b>	<b>25</b>
<b>Figura 10</b> <b>Viga de alma llena con angulares en los miembros.</b>	<b>36</b>
<b>Figura 11</b> <b>Viga de alma llena con angulares y platabandas.</b>	<b>36</b>
<b>Figura 12</b> <b>Remachado de las platabandas anchas.</b>	<b>37</b>
<b>Figura 13</b> <b>Momento máximo de una viga simple solicitada por dos cargas móviles.</b>	<b>46</b>
<b>Figura 14</b> <b>Momento máximo de una viga simple solicitada por un sistema de varias cargas móviles.</b>	<b>46</b>
<b>Figura 15</b> <b>Viga de Perfil de Alma Llena</b>	<b>50</b>
<b>Figura 16</b> <b>Viga de Perfil de Alma Llena Doble</b>	<b>51</b>
<b>Figura 17</b> <b>Esquema de puente grúa</b>	<b>62</b>
<b>Figura 18</b> <b>Deformaciones totales, programa Ansys.</b>	<b>69</b>
<b>Figura 19</b> <b>Esfuerzos equivalentes (von-Mises), programa Ansys.</b>	<b>70</b>
<b>Figura 20</b> <b>Factor de seguridad, programa Ansys.</b>	<b>71</b>
<b>Figura 21</b> <b>Deformaciones totales, programa Ansys.</b>	<b>75</b>
<b>Figura 22</b> <b>Esfuerzos equivalentes (von-Mises), programa Ansys.</b>	<b>76</b>
<b>Figura 23</b> <b>Factor de seguridad, programa Ansys.</b>	<b>77</b>

## LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1      Presiones de rueda de carros accionados eléctricamente con elevación auxiliar.	41
Grafica 2      Peso propios de vigas principales de alma llena en kg/m.	41
Grafica 3      Pesos propios de vigas en celosía con distintas fuerzas portantes y luces en kg/m.	42
Grafica 4      Presiones máximas de rueda de puente-grúa accionados eléctricamente de distintas fuerzas portantes (sin carrera auxiliar, del modelo de celosía)	42
Grafica 5      Pesos propios del mecanismo de traslación en el centro del carro puente.	43
Grafica 6      Pesos propios de carros de distinto modelos	44
Grafica 7      Pesos propio totales de grúa puente accionados eléctricamente	48
Grafica 8      Diferentes tipos de falla	54
Grafica 9      Plastificación de la sección transversal de una viga	56
Grafica 10      Clasificación de las secciones según el pandeo	57
Grafica 11      Diagrama de fuerza, 2 cargas móviles P de igual magnitud.	64
Grafica 12      Diagrama de cortante [V (cm)], 2 cargas móviles P de igual magnitud.	64
Grafica 13      Diagrama de momento [M (kg.cm)], 2 cargas móviles P de igual magnitud.	65
Grafica 14      Diagrama de fuerza, carga distribuida peso propio de la viga.	65
Grafica 15      Diagrama de cortante [V (kg)], carga distribuida peso propio de la viga.	65
Grafica 16      Diagrama de momento [M (kg.cm)], carga distribuida peso propio de la viga.	66

<b>Grafica 17</b>	<b>Diagrama de fuerza, carga centrada del peso del motor.</b>	<b>66</b>
<b>Grafica 18</b>	<b>Diagrama de cortante <math>[V \text{ (kg)}]</math>, carga centrada del peso del motor.</b>	<b>67</b>
<b>Grafica 19</b>	<b>Diagrama de momento <math>[M \text{ (kg.cm)}]</math>, carga centrada del peso del motor.</b>	<b>67</b>

## **LISTA DE ANEXOS**

	<b>Pág.</b>
<b>ANEXO A. Nicolás del castillo S.A. propiedades de perfiles laminados</b>	<b>82</b>

## GLOSARIO

**ACCIÓN INELÁSTICA:** deformación de un miembro que no desaparece cuando las cargas se retiran.

**ACERO:** aleación que consiste principalmente en hierro (usualmente más del 98%). también contiene pequeñas cantidades de carbono, silicio, manganeso, azufre, fósforo y otros materiales.

**APLASTAMIENTO DEL ALMA:** falla del alma de un miembro cerca de una fuerza concentrada.

**ÁREA NETA:** área total de la sección transversal de un miembro menos cualquier agujero, muescas u otras indentaciones.

**ATIESADOR:** placa o ángulo usualmente conectado al alma de una viga o trabe para prevenir la falla del alma.

**CARGA DE PANDEO:** carga bajo la cual un miembro a compresión recto toma una posición flexionada.

**CARGA FACTORIZADA:** carga nominal multiplicada por un factor de carga.

**CENTRO DE CORTANTE:** punto en la sección transversal de una viga por el que la resultante de las cargas transversales debe pasar para que no se genere torsión.

**COLUMNA:** miembro estructural cuya función primaria es soportar cargas de compresión.

**DEFORMACIÓN UNITARIA ELÁSTICA:** deformación unitaria que ocurre en un miembro cargado antes que se alcance su esfuerzo de fluencia.

**DEFORMACIÓN UNITARIA PLÁSTICA:** deformación unitaria que ocurre en un miembro, sin ningún incremento en el esfuerzo, después de que se alcanza su esfuerzo de fluencia.

**DISEÑO ELÁSTICO:** método de diseño que se basa en ciertos esfuerzos permisibles.

**DISEÑO PLÁSTICO:** método de diseño que se basa en consideraciones de condiciones de falla.

**DUCTILIDAD:** propiedad de un material que le permite resistir una gran deformación sin fallar bajo esfuerzos de tensión elevados.

**ELASTICIDAD:** capacidad de un material de regresar a su forma original después de que ha sido cargado y después descargado.

**ELEMENTO NO ATIESADO:** pieza proyectante de acero con un borde libre paralelo a la dirección de una fuerza de compresión y con el otro borde en esa dirección no soportado.

**ELEMENTO RIGIDIZADO:** una pieza de acero que sobresale y cuyos bordes paralelo a la dirección de una fuerza de compresión están arriostrados.

**ESFUERZO DE FLUENCIA:** esfuerzo bajo el cual hay un claro incremento en la deformación o alargamiento de un miembro sin un incremento correspondiente en el esfuerzo.

**ESFUERZOS RESIDUALES:** esfuerzos que existen en un miembro descargado después de ser fabricado.

**ESTADO LÍMITE:** una condición en la que una estructura o algún punto de la estructura cesa de efectuar su función asignada en cuanto a resistencia o cuanto a servicio.

**FACTOR DE FORMA:** razón del momento plástico de una sección a su momento de fluencia.

**FACTOR  $\phi$  DE RESISTENCIA:** un número casi siempre menor que 1.0 que se multiplica por la resistencia última o nominal de un miembro o conexión para tomar en cuenta las incertidumbres en la resistencia del material, dimensiones y mano de obra. Llamado también factor de sobrecapacidad.

**INESTABILIDAD:** situación que se presenta en un miembro cuando la deformación creciente en ese miembro ocasiona una reducción en su capacidad de tomar cargas.

**LÍMITE ELÁSTICO:** máximo esfuerzo que un material puede resistir sin deformarse de manera permanente.

**LRFD:** Load and Resistance Factor Design, el método de los estados límite es un enfoque de seguridad en el cálculo estructural ponderado por diversas normativas técnicas, instrucciones y reglas de cálculo, consistente en enumerar una serie de situaciones riesgosas cuantificables mediante una magnitud, y asegurar que con un margen de seguridad razonable la respuesta máxima favorable de la estructura

en cada una de esas situaciones es superior a la exigencia real sobre la estructura.

**MIEMBRO COMPUESTO:** miembro formado de dos o más elementos de acero atornillados soldados entre sí para formar un solo miembro.

**MIEMBRO HIBRIDO:** un miembro de acero estructural hecho con partes que tienen diferentes esfuerzos de fluencia.

**MÓDULO DE ELASTICIDAD O MÓDULO DE YOUNG:** razón del esfuerzo a la deformación unitaria en un miembro bajo carga. Es una medida de la rigidez del material.

**MÓDULO DE SECCIÓN:** la relación del momento de inercia aun eje particular de una sección dividido entre la distancia a la fibra externa de la sección medida perpendicularmente al eje en consideración.

**MODULO PLÁSTICO:** el momento estático de las áreas de tensión y compresión de una sección respecto del eje neutroplástico.

**MOMENTO DE FLUENCIA:** momento que producirá justamente el esfuerzo de fluencia en la fibra externa de una sección.

**MOMENTO PLÁSTICO:** el esfuerzo de fluencia de una sección multiplicado por su módulo plástico. Es el momento nominal que la sección puede resistir en teoría si esta soportado lateralmente.

**PANDEO DEL ALMA:** pandeo del alma de un miembro.

**PANDEO LOCAL:** pandeo de la parte de un miembro mayor que precipita la falla de todo el miembro.

**RELACIÓN DE ESBELTEZ:** relación de la longitud efectiva de una columna a su radio de giro, ambos referidos al mismo eje de flexión.

**SECCIÓN COMPACTA:** sección que tiene un perfil suficientemente robusto de manera que es capaz de desarrollar una distribución de esfuerzo totalmente plástica antes de pandearse.

**SECCIÓN ESBELTA:** miembro que se pandeara localmente mientras que el esfuerzo esta aun en el rango elástico.

**SECCIÓN NO COMPACTA:** una sección que no puede someterse en su totalidad a esfuerzos plásticos antes de que ocurra el pandeo. El esfuerzo de fluencia

puede alcanzarse en algunos pero no en todos los elementos a compresión antes de ocurra pandeo.

**VIGA:** miembro que soporta cargas transversales a su eje longitudinal.

**VIGA DE ALMA LLENA:** viga de acero que se hace compuesta de varios miembros formando un solo miembro o elemento.

.



## **RESUMEN**

Este trabajo propone un procedimiento para calcular y seleccionar la viga principal de un puente grúa birraíl, donde el carro del puente se desplaza sobre dos vigas principales, de una forma eficiente y eficaz, con parámetros establecidos, diferentes luces y capacidades portantes, permitiendo sustentar con memorias de cálculo y tablas de diversos perfiles empleado para la empresa IMK. S.A.S. quienes son una empresa dedicada a la fabricación de puentes grúa y estructuras metálicas.

Esto se logró mediante la recopilación y estudio de diferentes métodos de cálculo de vigas para puentes grúa, y verificación de las normas, como la AISC (American Institute of Steel Construction), para el cumplimiento del perfil óptimo de acuerdo a las solicitaciones, calculando la flecha o deflexión máxima de acuerdo a la luz y capacidad del puente grúa.

Además, la metodología, cálculos y formulas implementadas se verificaron mediante un análisis por elementos finitos con ANSYS.

**Palabras claves:** Inercia, módulo de sección, flecha y esfuerzo.

## 1. INTRODUCCIÓN

El puente grúa ha sido por mucho tiempo una solución eficiente para el transporte de cargas pesadas, gracias a su alta rentabilidad y bajo costo de mantenimiento. La confiabilidad y versatilidad de estas máquinas de elevación permite que sean adaptadas a cualquier aplicación y cualquier espacio, desde la industria del acero hasta pequeños talleres para el transporte de materiales de forma rápida y segura.

Los modelos de puente grúa más comunes dependiendo de su aplicación son:

- **Puente grúa monorraíl**, garantiza un flujo de material óptimo, dado que permite optimizar el espacio de trabajo. Los puentes grúa monorraíl se pueden suministrar con viga de perfil laminado o con viga cajón soldada, según las necesidades de diseño, se pueden hacer montajes que ahorran mucho espacio y permiten una máxima altura de gancho (ver Fig. 1).

**Figura 1** Puente grúa monorraíl



**Fuente:** Sistemas de Grúas, S.L [en línea]. España: ABUS [consultado 02 de Mayo de 2012]. Disponible en internet: <http://www.abusgruas.es/>

- **Puente grúa birraíl**, tiene una máxima capacidad de carga de 120 toneladas. Están disponibles con viga cajón soldada y ofrecen las mejores condiciones para aplicaciones adicionales. Por ejemplo, mayor velocidad de traslación de grúa, pasarelas (o pasillo) de mantenimiento, carros con pasarela o polipastos auxiliares (ver Fig. 2).

**Figura 2**      **Puente grúa birraíl**



**Fuente:** Sistemas de Grúas, S.L [en línea]. España: ABUS [consultado 02 de Mayo de 2012]. Disponible en internet: <http://www.abusgruas.es/>

- **Puente grúa suspendido**, Se emplea en aplicaciones de naves de características especiales, en las que la viga carril de la grúa no se apoya en columnas o salientes, sino que se suspende del techo. El tamaño del carro permite un máximo aprovechamiento del ancho de la nave (ver Fig. 3).

**Figura 3      Puente grúa suspendido**



**Fuente:** Sistemas de Grúas, S.L [en línea]. España: ABUS [consultado 02 de Mayo de 2012]. Disponible en internet: <http://www.abusgruas.es/>

- **Grúas de consola monorraíl**, Este diseño se emplea para grúas independientes con su propia viga carril, la cual, se encuentra a un nivel por debajo de otro puente grúa (ver Fig. 4). Este diseño es ideal para mantener varios puestos de trabajo al mismo tiempo. Adicionalmente, la grúa de consola monorraíl tiene un alcance de brazo de hasta 12 metros y una capacidad de hasta 5 toneladas.



**Figura 4** Grúas de consola monorraíl



**Fuente:** Sistemas de Grúas, S.L [en línea]. España: ABUS [consultado 02 de Mayo de 2012]. Disponible en internet: <http://www.abusgruas.es/>

El propósito de este trabajo es la elaboración de un procedimiento de diseño y selección de la viga principal de un puente grúa en la empresa I.M.K S.A.S, que permita verificar que el perfil de esta viga cumple con los requerimientos de capacidad de carga, según la norma de diseño. Este procedimiento permitirá optimizar costos de diseño en dicha empresa.

La empresa I.M.K S.A.S se especializa en la construcción y el montaje de puentes grúa de estructura metálica. Adicionalmente, la empresa cuenta con una trayectoria de más de 30 años en diseño, asesoría y mantenimiento a lo largo del país.

La alta trayectoria de esta empresa le ha permitido tener la infraestructura para realizar obras de ingeniería de gran envergadura. Sin embargo, el proceso de diseño y selección es en muchas ocasiones basado en la experiencia de diseños previos, por lo que se requiere un procedimiento de ingeniería que permita seleccionar perfiles óptimos, con base en análisis estructural y/o análisis por elementos finitos.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **2.1. GENERALIDADES DEL PUENTE GRÚA**

Los puente grúa son máquinas para elevación y transporte de materiales, tanto al interior como al exterior de la industria y su uso es muy común en almacenes industriales, talleres, astilleros, salas de máquinas, etc. Básicamente se compone de una estructura elevada formada por una o varias vigas de acero, con un sistema de desplazamiento de 4 ruedas sobre rieles laterales que son movidos por uno o más motores eléctricos y un sistema elevador central de polipasto y gancho.

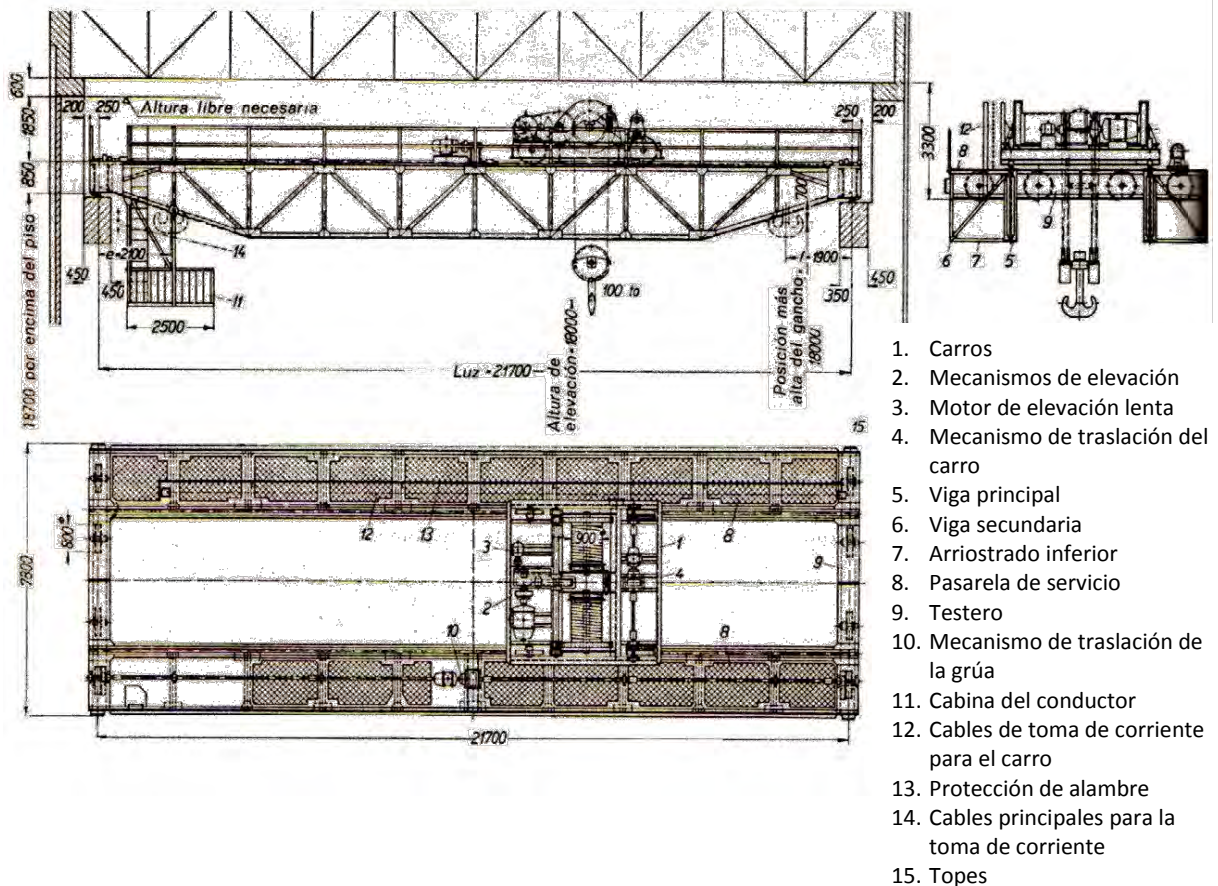
El transporte dentro del taller se facilita gracias a la circulación por vías elevadas, unidas casi siempre a la construcción de la nave del taller, dejando libre toda la superficie del pavimento destinado a manufactura, de modo que el trabajo y el tránsito sobre el suelo pueden efectuarse sin obstáculos (ver Fig. 5).

Debido a la movilidad del puente grúa y del carro que corre sobre el mismo, el área de trabajo abarcado por la grúa es rectangular. La velocidad de trabajo de la grúa está determinada por la carga máxima a transportar. Sin embargo, en las grúas de gran capacidad (mayor a 120 toneladas), la velocidad de trabajo no está determinada por la máxima capacidad de carga.

Los puente grúas cuya capacidad de carga oscila entre 5 y 120 toneladas son accionados eléctricamente, en el caso de que se requiera una menor capacidad (o una menor fuerza portante), se diseñan como grúas suspendidas o de polipasto eléctrico.

Todos los puente grúa constan de una o dos vigas principales, sobre las que se apoyan los carriles del carro, y de las dos vigas testera (dispuestas de manera perpendicular a la viga principal), sobre las cuales se desplaza el puente grúa en toda la edificación (ver Fig.6). El puente grúa de una sola viga con carro sobre las alas inferiores solo se ejecuta como puente grúa de mano hasta 3 toneladas de carga (ver Fig.6). En el puente grúa con dos vigas principales, el gancho de la carga del carro se mueve entre las vigas principales (ver Fig.7). En la mayoría de los casos junto al accionamiento eléctrico, existe un arriostrado horizontal, que tiene que resistir las fuerzas producidas por la aceleración y el frenado, así como sostener la pasarela de la grúa. Este arriostrado en mención, está sostenido a un lado por la viga principal y en el otro por la viga secundaria, la cual es llamada también viga lateral o de pasillo (ver Fig. 8).

**Figura 5 Puente grúa de 100 toneladas de fuerza portante**



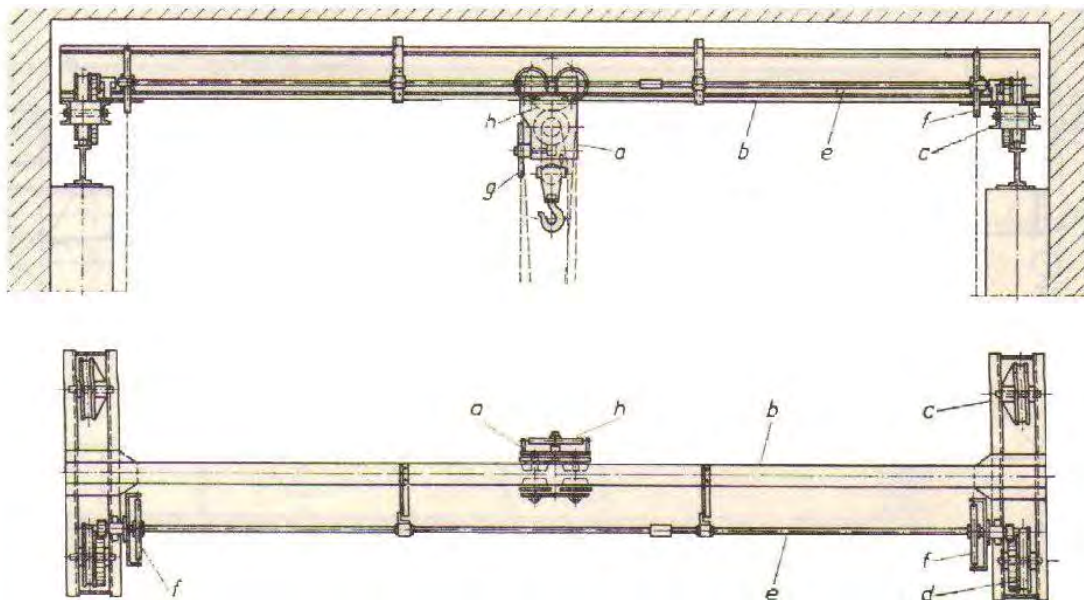
**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Winden und Krane (Band II). Brunswick: Vieweg&Sohn, 1961. p. 80.

De acuerdo a la magnitud de la carga y la luz de la viga, se emplean vigas de perfil laminado normal o de alas anchas (ver Figs.7 y 8). Por lo general, se utilizan para luces de 10 hasta 15 m, y con fuerzas menores y puente grúas normales, para luces aún mayores.

En las grúas accionadas eléctricamente, por lo menos en un lado, se dispone de una pasarela de servicio que lleva el mecanismo de traslación de la grúa y que está sostenida por una viga secundaria, casi siempre en celosía (ver Fig. 8).

**Figura 6 Puente grúa a mano de una sola viga (Achiess A. G., Dusseldorf)**

a) Carro grúa de mano que circula sobre las alas inferiores, b) Viga principal, c) Testero, d) Rodillo de traslación de la grúa, e) Árbol del mecanismo de traslación de la grúa, f) Rueda de cadena para el mecanismo de traslación de la grúa, g) Rueda de cadena para el mecanismo de elevación, h) Rueda de cadena para el mecanismo de traslación del carro.



**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Winden und Krane (Band II). Brunswick: Vieweg&Sohn, 1961. p. 109.

**Figura 7 Vigas de perfil laminado sin pasarela de servicio.**

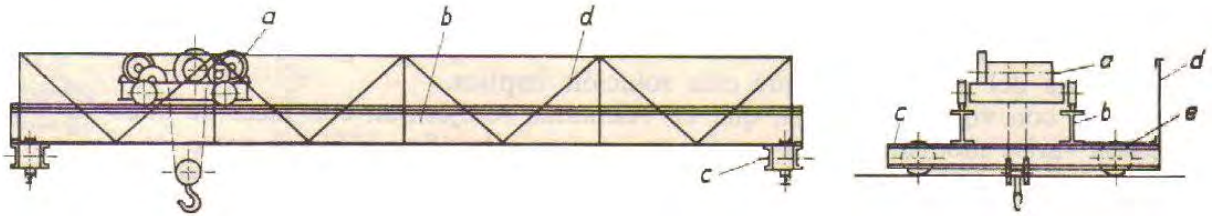


**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Winden und Krane (Band II). Brunswick: Vieweg&Sohn, 1961. p. 109.



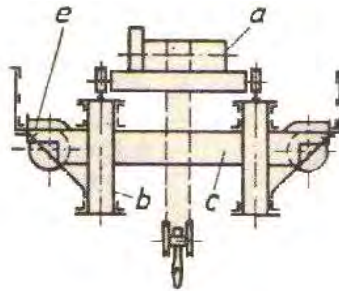
**Figura 8 Vigas de perfil laminado con pasarela de servicio.**

a) Carro, b) Viga principal, c) Testero, d) Viga secundaria, e) Pasarela de servicio.



**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Winden und Krane (Band II). Brunswick: Vieweg&Sohn, 1961. p. 109.

**Figura 9 Viga de cajón con pasarela de servicio montada en voladizo.**



**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Winden und Krane (Band II). Brunswick: Vieweg&Sohn, 1961. p. 134.

Las vigas para los puente grúa americanos normalmente se hacen en forma de vigas cajón (ver Fig. 9). A causa de la gran rigidez lateral de este modelo, no son necesarios los arriostrados. También, gracias a la rigidez torsional de la sección del cajón, la pasarela de servicio y el mecanismo de traslación de la grúa se pueden fijar a la viga principal, de modo que casi siempre sobra una viga secundaria.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

Es muy importante para la empresa contar con una herramienta que permita hacer los cálculos para la selección de los perfiles de la viga principal con el fin de cumplir las recomendaciones de la norma DIN 120 y el método LRFD designado por el AISC. El procedimiento de diseño desarrollado en este trabajo permitirá seleccionar el perfil de la viga principal de los puentes grúa, de tal manera que las máquinas de elevación entregados a los clientes sean más confiables y robustas desde el punto de vista de la ingeniería.

Este proyecto aplica y refuerza conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería mecánica, en temas como estática, dinámica, resistencia de materiales y metalurgia.

Adicionalmente, la empresa IMK urge de un procedimiento para validar la selección de los perfiles estructurales empleados en el diseño de puentes grúa, con base en un estándar para diseño de estructuras.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un procedimiento para el cálculo y selección de la viga principal de un puente grúa, bajo diferentes requerimientos de carga portante y luz, de tal forma, que le permita a la empresa contar con memorias de cálculo para sus diseños.

### **4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar una investigación bibliográfica sobre proyectos realizados en el área de máquinas de elevación o similares.
- Analizar y seleccionar el perfil comercial más óptimo con base en su resistencia, bajo diferentes condiciones de luz y carga portante.
- Elaborar un procedimiento de diseño para el cálculo de la viga principal de un puente grúa, a fin de proporcionar a sus clientes memorias con base en cálculos teóricos y/o modelaje computacional.

## 5. MARCO TEORICO

### 5.1. ANTECEDENTES

Este trabajo replantea el diseño de la máquina de elevación que fabrica la empresa IMK, que cuenta con una larga trayectoria, que comenzó en la ciudad de Cali en el año 1990.

El éxito de la empresa europea ABUS, se basa en la estandarización de sus productos con el punto de mira situado en la producción en serie. El marketing concebido en función de las necesidades del cliente y el trabajo de desarrollo de ABUS garantizan el continuo progreso de la gama estándar para dar respuesta a las actuales necesidades del mercado<sup>1</sup>.

Estudiantes de ingeniería mecánica de la Universidad Autónoma de Occidente de Cali realizaron el diseño y montaje de un transportador puente-grúa y elevador vertical para los talleres de metalmecánica del Instituto Técnico Industrial San Juan Bosco de Cali <sup>2</sup>. Este proyecto nació de la necesidad de dotar de dos mecanismos de elevación y transporte a los talleres industriales del instituto, con el fin de facilitar el manejo de carga elevada. Este diseño contó con el apoyo de un proyecto de grado en Ingeniería Mecánica, donde se incluyó el diseño de los mecanismos, así como la aplicación de conocimientos en asignaturas como diseño de máquinas, resistencia de materiales, diseño de estructuras <sup>2</sup>.

Los dos mecanismos son complementarios, pues, el puente grúa se utiliza para movilizar las cargas desde o hasta la puerta de acceso al área de talleres. Al final de la carrera está ubicado un elevador vertical para facilitar la movilización de la carga al segundo nivel. Por lo general se conoce que en los talleres se movilizan cargas de máximo de 1200 kg. Sin embargo, los mecanismos se han diseñado para una carga máxima de trabajo de 3000 kg, con el fin de cubrir posibles exigencias futuras.

---

<sup>1</sup> Sistemas de Grúas, S.L [en línea]. España: ABUS [consultado 02 de Mayo de 2012]. Disponible en internet: <http://www.abusgruas.es/>

<sup>2</sup> RUIZ PEREA, Armando. LLANOS RUIZ, Héctor. Diseño de transportado puente-grúa y elevador vertical para los talleres de metalmecánica del ITI San Juan Bosco de Cali. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería, 1998.

## 5.2. PRINCIPIO PARA EL DIMENSIONAMIENTO

El método a emplear es generalmente suficiente para calcular las fuerzas de sollicitación. El dimensionamiento se basa en la norma DIN 120: Bases de cálculo para las estructuras de grúas y caminos de rodadura.

**5.2.1. Fuerzas Exteriores.** Las estructuras están sollicitadas, de forma concurrente, por varias fuerzas, diferenciadas entre cargas fijas, fuerzas debidas a las diferencias de temperatura, al viento, nieve y al frenado. Según la DIN 120 se las divide en fuerzas principales y fuerzas secundarias.

**5.2.1.1. Fuerzas principales.** Las cargas fijas sollicitan la estructura de forma constante sin variación de intensidad, ni de dirección, por ejemplo el peso propio y los contrapesos, entre otras. Una vez estimadas estas cargas, se deben verificar sin son insuficientes. Si esto último llegase a ocurrir, se deberá rehacer el cálculo, según DIN 120, si los esfuerzos establecidos con las cargas fijas sobrepasan en un 3% los esfuerzos admisibles.

Las *cargas móviles* comprenden todas las fuerzas cuya intensidad y puntos de aplicación cambian regularmente durante el funcionamiento. Las fuerzas de inercia generadas por el frenado y la aceleración, forman parte de las cargas móviles y se pueden despreciar si las fuerzas secundarias fuesen tan importantes que obliguen a sobredimensionar las secciones.

Los *esfuerzos* por las variaciones de temperatura, solo se consideran en casos especiales, cuando la grúa está sometida a libre dilatación, por estar a la intemperie y se admiten cambios de temperatura entre -25 y +45 °C.

**5.2.1.2. Fuerzas secundarias.** Estas fuerzas comprenden la presión del viento, frenado y cargas sobre la escalera y pasarelas.

---

<sup>3</sup> FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Grundlagen und Bauteile. Brunswick: Vieweg&Sohn, 1965.p.294.

La fuerza ejercida por el viento depende de la forma de la estructura y se compone de sobrepresiones y depresiones ejercidas sobre las superficies constituyentes. Se mide y expresan como múltiplos de la presión dinámica  $q$ :

(Ec. 1)

$$v = cq \text{ (Kg/m}^2\text{)}$$

Donde  $C$  es un coeficiente que depende de la forma (ver cuadro 2). Los valores de  $q$  son función de la velocidad del viento que varía con la altura sobre el suelo (ver cuadro 1). Las máquinas que se encuentran en el interior de edificaciones no son solicitadas por el viento.

<b>Cuadro 1 Presión dinámica del viento</b>				
<b>Altura sobre el suelo</b>	<b>Fuera de servicio</b>		<b>En servicio</b>	
	<b>Velocidad del viento <math>v</math> (m/s)</b>	<b>Presión dinámica <math>q</math> (kg.m<sup>2</sup>)</b>	<b>Velocidad del viento <math>v</math> (m/s)</b>	<b>Presión dinámica <math>q</math> (kg.m<sup>2</sup>)</b>
0 a 20	35,8	80	22	30
De 20 a 100	42	100		
Más de 100	45,6	130		

**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Grundlagen und Bauteile. Brunswick: Vieweg&Sohn, 1965. p. 294.

<b>Cuadro 2 Coeficiente de forma C</b>		
<b>Tipo de construcción</b>	<b>Coeficiente de forma C</b>	
	<b>Sobrepresión</b>	<b>Depresión</b>
Viga de celosía y de alma llena	1,6	
Cabinas, contrapeso y superficies unidas	0,8	0,4
	1,2	

**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Grundlagen und Bauteile. Brunswick: Vieweg&Sohn, 1965. p. 294.

Se determina la superficie expuesta al viento, área de aferencia, según las dimensiones reales, añadiendo una superficie estimada para la carga.

Se admite que las *fuerzas de frenado* en la dirección de los carriles representan 1/7 de la reacción de todas las ruedas frenadas.

Las pasarelas y escaleras deben resistir una carga móvil de 300 kg. Se puede despreciar este requerimiento en todas las piezas solicitadas por la carga móvil

principal. Se pueden disminuir estos valores en un 50% en las escaleras y pasarelas usadas raramente y sin carga.

Cuadro 3      Esfuerzos Admisibles (kg/cm²) para los elementos de las estructuras metálicas							
Elementos	Solicitud	Para estructuras en celosía, compuestas, pies derechos en				Material	Calculad o sobre la
		Acero de 37 kg		Acero de 52 kg			
		Cas o 1	Cas o 2	Cas o 1	Cas o 2		
a. Barras Chapas, etc.	$\left\{ \begin{matrix} Traccion \\ y flexion \end{matrix} \right\} \sigma_{adm}$	1400	1600	2100	2400		
	$Cortadura \tau_{adm}$	1120	1280	1680	1920		
b. Remache s	$Cortadura \tau_{cadm}$	1120	1280	1120	1280	Remache s en St 34-13	Sección del agujero
		-	-	1680	1920	>> en St 44	
	$Aplast. \sigma_{madm}$	2800	3200	2800	3200	>> en St 34-13	
		-	-	4200	4800	>> en St 44	
c. Tornillos ajustados	$Cortamiento \tau_{cadm}$	1120	1280	1120	1280	Tornillos en St 38-13	Sección del agujero
		-	-	1680	1920	>> en St 52	
	$Aplast. \sigma_{madm}$	2800	3200	2800	3200	>> en St 38-13	
		-	-	4200	4800	>> en St 52	
	$Traccion \sigma_{adm}$	1000	1100	1000	1100	>> en St 38-13	Sección del núcleo
		-	-	1500	1700	>> en St 52	
<b>NOTA:</b> La utilización del cuadro implica el empleo de factores de corrección según los cuadros 6 y 7. Los diferentes aceros se designan según la norma DIN para aceros citados. El primer grupo de cifras indica la resistencia a la rotura (St 37 = 37000 kg/mm²)							

**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Grundlagen und Bauteile. Brunswick: Vieweg&Sohn, 1965. p. 295.

### 5.2.2. Esfuerzos admisibles.

Se admiten los siguientes esfuerzos:

**5.2.2.1. Caso 1: Solicitación de las fuerzas principales.** Está constituido por la aplicación simultánea y en la forma más desfavorable, de cargas fijas y móviles, contracción oblicua sobre el cable, y efectos provocados por la diferencia de temperatura.

**5.2.2.2. Caso 2: Solicitación por las fuerzas principales y secundarias.** Está constituido por la aplicación simultánea y de la forma más desfavorable de las fuerzas del caso 1 y de las fuerzas resultantes del viento, frenado y fuerzas horizontales.

Los elementos que no son solicitados por las fuerzas principales y sólo lo son por una fuerza secundaria, deben ser dimensionados según los esfuerzos del caso 1.

El dimensionamiento definitivo se hace según el caso que requiera la sección más robusta.

(Los esfuerzos admisibles para los casos 1 y 2 están indicados en el cuadro 3.)

### **5.2.3. Calculo de los Esfuerzos Máximos Efectivos**

**5.2.3.1. Generalidades:** Los esfuerzos admisibles de la norma DIN 120 son valederos para una sollicitación estática, es decir, de intensidad invariable. Frecuentemente esta condición no se encuentra en las máquinas de elevación. La carga móvil, cambiando de intensidad y de posición, produce en la estructura fuerzas variables aplicadas, muchas veces, con un cierto choque. Es evidente que se debe tener en cuenta este hecho si se requiere utilizar los esfuerzos admisibles establecidos para las cargas estáticas. Todas las fuerzas, esfuerzos cortantes y momentos flectores resultantes de la carga móvil deben ser ajustados por un coeficiente que depende también de las condiciones de funcionamiento de la máquina. A este fin se clasifican las máquinas de elevación en cuatro grupos (ver cuadro 4).



<b>Cuadro 4 Condiciones de funcionamiento de la maquina</b>							
<b>Grupo</b>	<b>Duración relativa de servicio (*)</b>	<b>Carga relativa (**)</b>	<b>Choques (***)</b>	<b>Grupo</b>	<b>Duración relativa de servicio (*)</b>	<b>Carga relativa (**)</b>	<b>Choques (***)</b>
I	pequeña	pequeña	normales	III	grande >> pequeña	grande pequeña grande	Normales Fuertes >>
II	grande Pequeña >>	>> grande pequeña	>> >> fuertes	IV	grande	>>	>>

(\*)La duración relativa del servicio está definida como la suma de tiempos de servicio y de tiempos de reposo. La duración relativa se considera pequeña si una maquina marcha de forma continua solamente la mitad de su recorrido por jornada.

(\*\*)Se considera la carga relativa como pequeña si el 50% de las cargas no sobrepasan los dos tercios de la capacidad de la máquina.

(\*\*\*)Los movimientos de la carga, del carro y de la traslación engendran choques. Un movimiento de elevación con gancho, a velocidad normal, da lugar a choques de importancia normal, con una cuchara prensora y una gran velocidad se alcanzan choques fuertes. Para los movimientos horizontales se tiene en cuenta los choques normales hasta una velocidad de 1,5 m/seg, por encima se les considera como fuertes. Si las juntas del carril son soldadas o si el carril no tiene juntas, la velocidad límite es de 2 m/seg.

**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Grundlagen und Bauteile. Brunswick: Vieweg&Sohn, 1965. p. 296.

La cuadro 5 sirve de guía para determinar la clasificación de una grúa en grupos según la cuadro 4.

En general los caminos de rodadura pueden ser clasificados en un grupo inferior al de la máquina correspondiente.

En conclusión, las solicitaciones de las cargas fijas no son nunca puramente estáticas si la propia maquina es móvil. Hay que tener en cuenta los choques resultantes de este movimiento de traslación multiplicando todas las fuerzas, esfuerzos cortantes y momentos resultantes de las cargas fijas por un coeficiente de choque  $\varphi$  que depende de la velocidad de traslación. (Ver cuadro 7)

<b>Cuadro 5 Clasificación de las máquinas de elevación</b>			
	<b>Tipo de maquina</b>	<b>Grupo</b>	<b>Observaciones</b>
1	Polipastos, gatos y dispositivos manuales	I	
2	Puentes-grúa de central	I - II	
3	Puentes-grúa para locomotoras	II	
4	Puentes-grúa de taller y de parque (pequeña fuerza)	II - III	Las máquinas pequeñas son más susceptibles de ser sobrecargadas
5	Puentes-grúa de taller y de parque (gran fuerza)	II	
6	Puentes-grúa de montaje	I - III	
7	Puentes-grúa de fundición	II - III	
8	Puentes-grúa para máquinas de remachar	II - III	
9	Grúas de astilleros	II	
10	Puentes-grúa pesados de gran fuerza	I - II	
11	Grúas giratorias, flotantes:		
	a. de gancho	II	
	b. de cuchara prensora o de electro-portador	III - IV	IV para servicio pesado de cuchara con pluma corta y poleas de cabeza sin resorte
12	Vigas de pórtico, de monocarriles, etc.:		
	a. de gancho	II	
	b. de cuchara prensora	II - III	III para servicio duro de cucharas prensadora, pluma corta y poleas de la pluma sin resortes sobre el carro
13	Puentes-grúa volcadoras de vagones	III	
14	Grúas para obras publicas	I - II	
15	Grúas ligeras, de montaje para cilindros de laminador	I - III	Grupo I si la grúa está hecha para la pieza más pesada
16	cargadores	III - IV	
17	Puentes en ménsula para el transporte de laminados	II - IV	
18	Puentes de colada	II - IV	
19	Puentes para lingoteras y lingotes	III	
20	Puentes para hornos Pitts	III - IV	
21	Puentes <<stripper >>	IV	
22	Puentes para romper piezas de fundición	II - IV	Grupo IV si se usa exclusivamente como quebrantador de fundiciones, un grupo inferior si ha sido calculado para superiores en trabajo normal

**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Grundlagen und Bauteile. Brunswick: Vieweg&Sohn, 1965. p. 297.

Se determina la fuerza máxima multiplicando todas las fuerzas, esfuerzos cortantes y momentos, resultantes de la carga móvil por el *coeficiente*  $\psi$  y multiplicando todas las fuerzas, esfuerzos cortantes y momentos resultantes de las cargas fijas por el *coeficiente*  $\phi$  si la maquina es móvil. Para cada barra se calcula la suma de todas las fuerzas principales y seguidamente la suma de las fuerzas principales y secundarias.

Cuando se calculan la suma de las fuerzas principales y secundarias, se comprueba cuál de los dos casos es el más desfavorable:

1°. Máquina en servicio con fuerzas principales, fuerza de inercia y presión del viento que permite funcionamiento. En este caso se debe aplicar los coeficientes  $\psi$  y  $\phi$ .

2°. Máquina fuera de servicio con las fuerzas principales en la posición más desfavorable (ya que la tempestad puede interrumpir el trabajo en cualquier momento) y la presión del viento según cuadros 1 y 2 correspondiente a una intensidad del viento que impide todo funcionamiento. En este caso no se aplican los coeficientes  $\psi$  y  $\phi$ .

Se determina el esfuerzo de manera diferente según la sollicitación de la barra (tracción, compresión o esfuerzos alternos).

<b>Cuadro 6 Coeficiente de corrección</b>	
Grupo	Coeficiente de corrección $\psi$
I	1,2
II	1,4
III	1,6
IV	1,9

<b>Cuadro 7 Coeficiente de choque</b>		
Velocidad de Traslación (m/s)		Coeficiente de choque $\phi$
Carril con juntas normales	Carril sin juntas o con juntas soldadas	
$\leq 1,0$	$\leq 1,5$	1,1
$> 1,0$	$> 1,5$	1,2

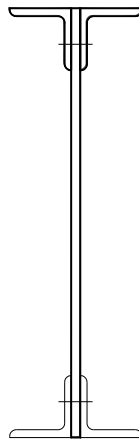
**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Grundlagen und Bauteile. Brunswick: Vieweg&Sohn, 1965. p. 298.

### 5.3. EL PROYECTO DE LAS ESTRUCTURAS DE LAS MÁQUINAS DE ELEVACIÓN

### 5.3.1. Viga de alma llena unida por remaches

Aunque la viga compuesta es más pesada que la celosía, se emplea sobre pequeñas luces de carga ya que ella necesita menos mano de obra y también es menos costosa. En los estados unidos las prefieren, incluso, para grandes fuerzas y luces.

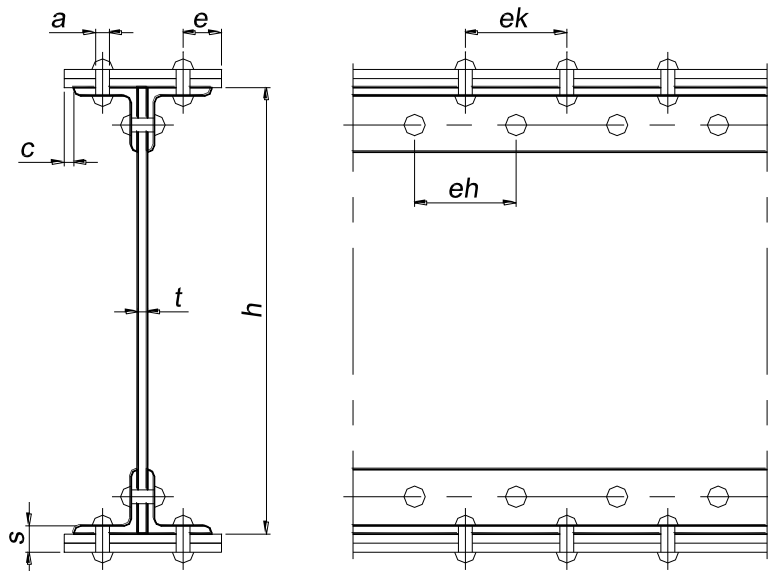
**Figura 10** Viga de alma llena con angulares en los miembros.



**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Grundlagen und Bauteile. Brunswick: Vieweg&Sohn, 1965. p. 309.

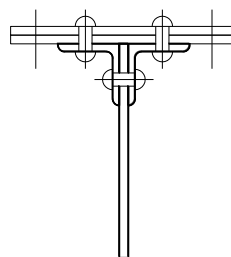
<sup>4</sup> FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Grundlagen und Bauteile. Brunswick: Vieweg&Sohn, 1965. p. 309.

**Figura 11** Viga de alma llena con angulares y platabandas.



**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Grundlagen und Bauteile. Brunswick: Vieweg&Sohn, 1965. p.309.

**Figura 12 Remachado de las platabandas anchas.**



**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Grundlagen und Bauteile. Brunswick: Vieweg&Sohn, 1965. p. 309.

La viga de alma llena más simple está constituida por un perfil en I. No obstante las fuerzas y momentos de cierta potencia exigen vigas compuestas de un alma con angulares (fig. 10) y con una o varias platabandas (fig. 11).

#### 5.3.1.1. Parámetros recomendados para el proyecto:

- Altura económica de la viga:  $h = 1/10$  a  $1/15$  de la luz  $\ell$ .
- Espesor del ala (Fig. 11):  $t = 6$  a  $8$  mm para pequeñas cargas; de  $10$  mm para
- cargas medias y de  $12$  mm para cargas fuertes;
- Numero de platabandas: hasta  $3$  a veces  $4$ ;
- Recubrimiento de las platabandas:  $c \geq 5$  mm;
- Distancia del centro de remaches al borde de las platabandas:  $e \geq 4d$  ( $d$ , diametro de los remaches);
- Espesor total con cubrejuntas:  $s = 4,5d$

En el caso de cartelas muy grandes, se puede añadir una fila de remaches suplementaria por fuera de los angulares (Fig. 12).

**5.3.1.2. Cálculo de la sección de la viga:** Se comprueba el modulo resistente neto  $W_n$ , partiendo del momento de inercia total:

(Ec. 2)

$$I_{tot} = \Sigma I + \Sigma F h_f^2 - \Sigma f h_f^2$$

Siendo:

$I$ , momentos de inercia de los elementos relativos a su propio centro de gravedad;

$F$ , secciones de los elementos en  $\text{cm}^2$ ;

$h_f$ , distancia de los centros de gravedad de los elementos al de gravedad de la viga en cm;

$f$ , secciones de los agujeros de los remaches en  $\text{cm}^2$ . (Para una fila en vertical en el alma, se resta  $\pm 15\%$  del espesor del alma o de los momentos de inercia correspondientes a la misma).

Con una distancia de  $v$  cm entre fibra externa y el centro de gravedad, el módulo de inercia resulta:

(Ec. 3)

$$W_n = \frac{I_{\text{tot}}}{v} \text{ (cm}^3\text{)}$$

La fatiga máxima:

(Ec. 4)

$$\sigma = \frac{M}{W_n} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

No debe sobrepasar los valores admisibles del cuadro 3. Los momentos están calculados teniendo en cuenta los factores  $\psi$  y  $\varphi$  según la norma DIN 120.

Si el miembro de compresión no está arriostrado en el plano horizontal, se debe comprobar la flexión en este plano. La fuerza de compresión es aproximadamente

(Ec. 5)

$$C = \frac{M}{I_{\text{tot}}} \text{ (Kg)}$$

Donde  $M$  es el momento medio sobre la longitud de flexión ( $\text{cm} \cdot \text{kg}$ )  
 $S = F h_F$  es el momento estático de la sección del elemento  $F$  (platabandas angulares y la parte del alma comprendida entre los mismos) y  $h_F$  es la distancia al centro de gravedad.

Si se designa por  $s_k$  la longitud de flexión, es decir, la distancia entre los puntos arriostrados en el plano horizontal, por  $I_y$  el momento de inercia del elemento alrededor del eje vertical, se obtiene la esbeltez:

(Ec. 6)

$$\lambda_y = \frac{S_k}{\sqrt{\frac{I_y}{F}}}$$

Por medio del coeficiente  $\omega_y$  se encuentra la fatiga de compresión.

(Ec. 7)

$$\sigma = \frac{C \omega_y}{F}$$

Que no debe sobrepasar los valores  $\sigma_{adm}$  del cuadro 3.

## 5.4. PUENTE GRÚA

### 5.4.1. Suposición sobre la carga y el peso propio

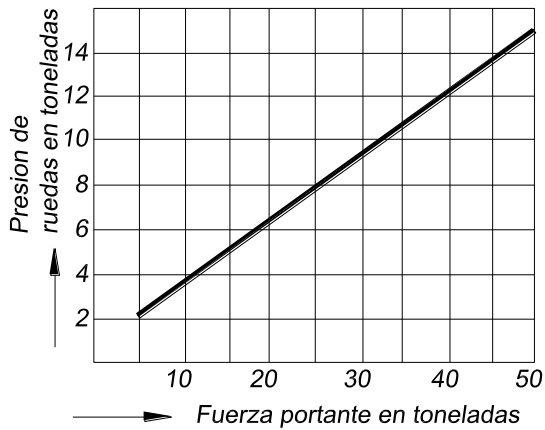
Puesto que con luces grandes, el peso propio de las distintas partes de la grúa, y en especial del puente de la grúa, componen una parte considerable de la carga y puesto determinadas partes del puente, como por ejemplo, las vigas secundarias o el arriostrado inferior, están solicitadas casi exclusivamente por las fuerzas debidas al peso propio, es necesario, antes de comenzar el cálculo, hacer lo posible por conocer la magnitud de los pesos propios. La validez de estas hipótesis se ha de comprobar después de ejecutar el cálculo y el dimensionamiento, rehaciéndose el cálculo. Cuando la tensión total determinada con base a dicha comprobación exceda de las tensiones admisibles de un 3% o más (DIN 120, párrafo 3) en las partes más peligrosas.

Para facilitar dichos cálculos, se dan en las gráficas 1 a 4, unos valores de partida.

Las presiones de las ruedas de los carros eléctricos normales con distintas fuerzas portantes (gráfica 1), el peso de la viga principal en kg/m (gráficas 2 y 3), el peso de la viga secundaria en kg/m (gráfica 3) y las presiones máximas de las ruedas de las grúas puente accionadas eléctricamente para el caso normal de cuatro ruedas (gráfica 4), los cuales se pueden emplear en el cálculo preliminar de las vigas testeras y de la vía de circulación de la grúa.

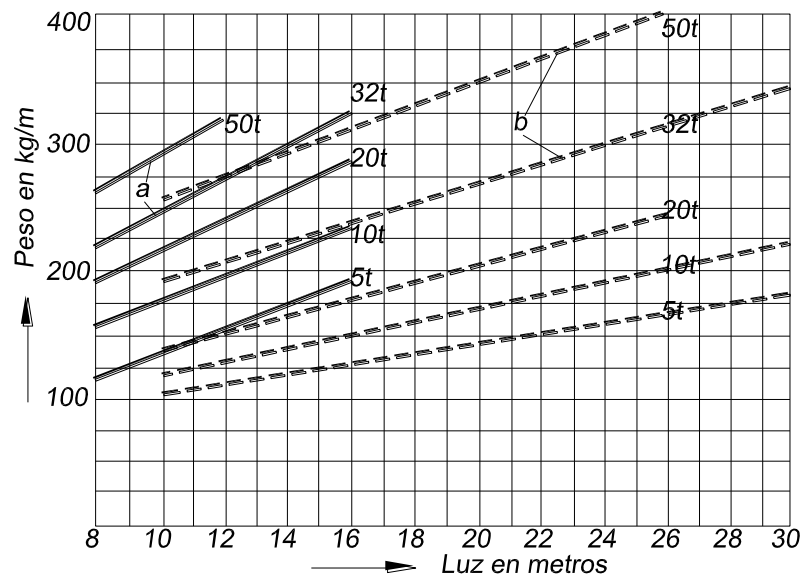


**Grafica 1 Presiones de rueda de carros accionados eléctricamente con elevación auxiliar.**



**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Winden und Krane (Band II). Brunswick: Vieweg&Sohn, 1961. p. 113.

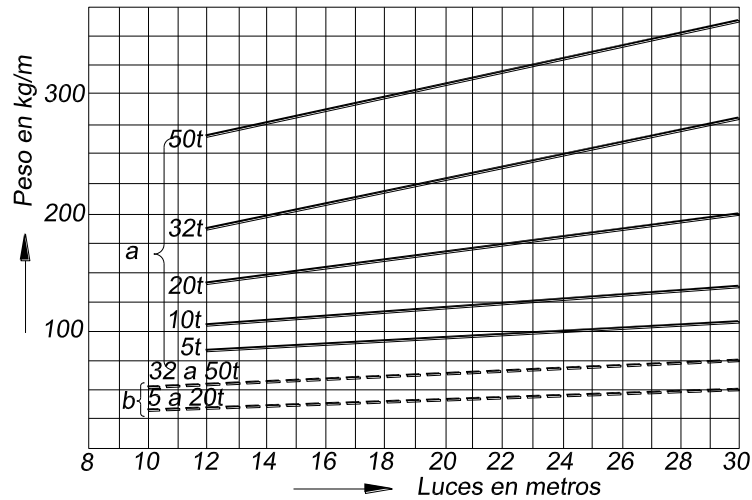
**Grafica 2 Peso propios de vigas principales de alma llena en kg/m.**  
*a* Vigas de perfil laminado (Perfil I); *b* Vigas remachadas.



**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Winden und Krane (Band II). Brunswick: Vieweg&Sohn, 1961. p. 113.

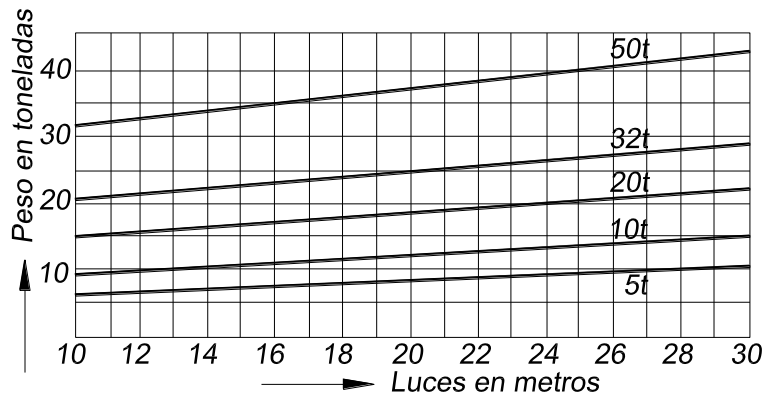
**Grafica 3 Pesos propios de vigas en celosía con distintas fuerzas portantes y luces en kg/m.**

*a* Vigas principales; *b* Vigas secundarias.



**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Winden und Krane (Band II). Brunswick: Vieweg&Sohn, 1961. p. 114.

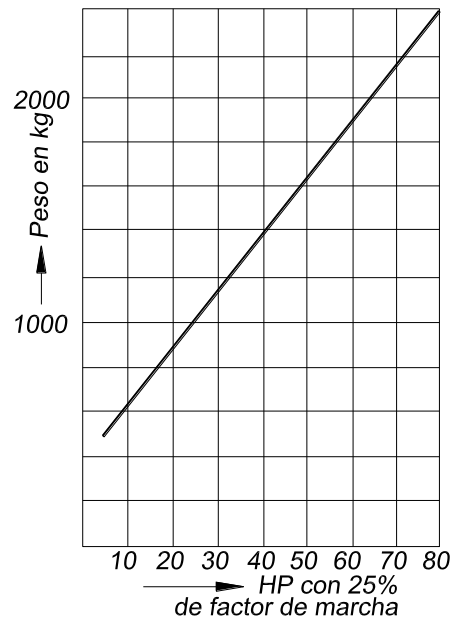
**Grafica 4 Presiones máximas de rueda de puente-grúa accionados eléctricamente de distintas fuerzas portantes (sin carrera auxiliar, del modelo de celosía)**



**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Winden und Krane (Band II). Brunswick: Vieweg&Sohn, 1961. p. 114.

**Grafica 5 Pesos propios del mecanismo de traslación en el centro del carro puente.**

(Motor, reductor, frenado y acoplamiento)



**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Winden und Krane (Band II). Brunswick: Vieweg&Sohn, 1961. p. 114.

Al emplear estos valores hay que tener en cuenta que, solo son válidos para grúas del grupo II DIN 120, o sea, para grúas puente eléctricas con solicitud moderada.

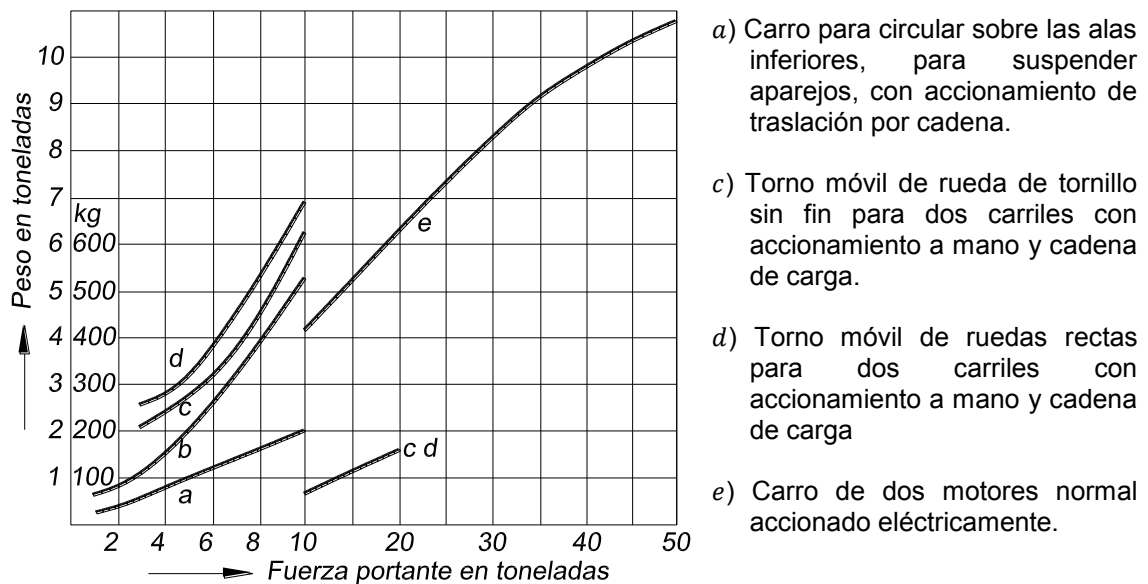
Para grúas de los grupos I y III se puede tomar, como evaluación aproximada, el peso propio de la viga principal de las gráficas 2 y 3, con lo que se reduce, o bien, se aumenta un 15% la capacidad portante, interpolando en las curvas el valor del peso propio a esta capacidad portante. Por lo demás, las condiciones constructivas, por ejemplo, las alturas muy reducidas en puentes de celosía o en vigas de alma llena, pueden influir fuertemente en el peso propio, estas curvas son válidas para alturas normales de 1/10 a 1/12, o bien, hasta 1/15, en vigas de alma llena, con base a la luz.

Las presiones de las ruedas del carro dependen menos de las grúas que del modelo especial del carro; así resulta que los carros con sistema de elevación

auxiliar, o con dos tambores, dan presiones de rueda más elevadas que en el modelo corriente.

Para pesos de carros movidos a mano véase la gráfica 6.

**Grafica 6 Pesos propios de carros de distinto modelos**



**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Winden und Krane (Band II). Brunswick: Vieweg&Sohn, 1961. p. 92.

El peso propio de las vigas secundarias apenas se modifica en las grúas, puesto que se trata de cargas de peso propio; en cambio, la velocidad de marcha desempeña un importante papel, porque de ella depende el número de persecuciones.

El peso propio de las vigas principal y secundaria, no representa con exactitud la carga completa debida al peso propio. Generalmente se le debe añadir la carga producida por la pasarela de servicio o arriestrado superior, y por el arriestrado inferior, el accionamiento para la traslación de la grúa y la cabina del conductor.

Al arriostramiento superior, casi siempre, se le da forma de pasarela de servicio transitable. Su peso se compone entonces de la cobertura, que casi siempre se hace de plancha perforada, los soportes, las barandillas y el árbol del mecanismo de traslación de la grúa, que están apoyadas sobre la pasarela.

Para pasarelas de 1,25 m de ancho y cobertura de planchas perforadas de 4 a 5 mm de grueso, según sea la fuerza portante, se cuenta con pesos de 80 a 120 kg/m de la pasarela. Se reparte aproximadamente por partes iguales entre las vigas principal y secundaria.

El peso del arriostrado inferior vale, según sea la fuerza portante y la luz, aproximadamente de 10 a 30 kg/m.

Para el accionamiento del mecanismo de traslación de la grúa, colocado en el centro del puente, cabe contar, según sea la potencia del motor, con los valores de la figura 8.

La cabina del conductor del modelo abierto, en grúas de poca potencia, se puede estimar de un peso de 1,2 ton en total, e incluyendo los aparatos eléctricos, en grúas de mayor potencia, de 2 a 2,5 ton.

#### **5.4.2. La viga de perfil laminado**

##### **5.4.2.1. Cálculo de la viga principal**

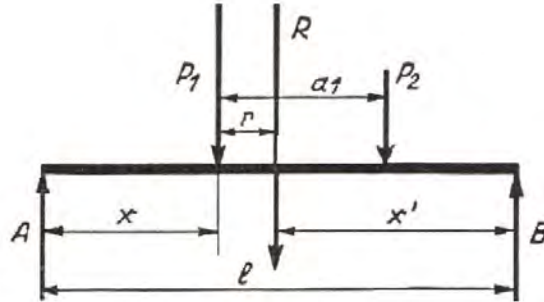
Para la elección del perfil, son factores determinantes:

1° la sollicitación de flexión por efecto de la carga móvil, el peso propio y las fuerzas de frenado.

2° la flecha de la viga.

El momento máximo, producido por dos presiones de rueda iguales  $P$  con la distancia  $a_1$  entre los ejes de las ruedas, con la luz  $l$ , se calcula según la sollicitación mostrada en la gráfica 1:

**Figura 13** Momento máximo de una viga simple solicitada por dos cargas móviles.



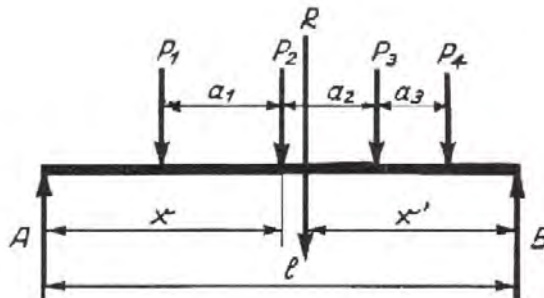
**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Grundlagen und Bauteile. Brunswick: Vieweg&Sohn, 1965. p. 284.

(Ec. 8)

$$\max. M_p = P \left[ \frac{\left( \ell - \frac{a_1}{2} \right)^2}{2\ell} \right]$$

Si las fuerzas son desiguales, el momento máximo se calcula según la sollicitación mostrada en la figura 14:

**Figura 14** Momento máximo de una viga simple solicitada por un sistema de varias cargas móviles.



**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Grundlagen und Bauteile. Brunswick: Vieweg&Sohn, 1965. p. 284.

(Ec. 9)

$$\max. M_p = (P_1 + P_2) \left[ \frac{(\ell - r)^2}{4\ell} \right]$$

En donde  $r$  representa la distancia de la resultante  $R$  a la mayor de ambas fuerzas. Este momento aparece aproximadamente en el centro de la viga, debajo de la fuerza mayor, cuando el centro de la viga divide en dos partes iguales la distancia comprendida entre  $R$  y la fuerza mayor  $P$ .

El momento de flexión debido al peso propio se halla en el centro de la viga

(Ec. 10)

$$M_{g1} = \frac{g_e \ell^2}{8}$$

Donde  $g_e$  representa el peso por metro lineal de la viga (ver grafica 2 y 3) contando además la parte de la pasarela de servicio correspondiente a la viga principal, cuando exista dicha pasarela. Además se ha de añadir, en caso necesario, el momento participante del accionamiento de la traslación existente en el centro del puente (ver Fig. 8).

(Ec. 11)

$$M_{g2} = \frac{G_2 \ell}{2 * 4}$$

La tensión de flexión calculada con base a estos momentos, teniendo en cuenta el coeficiente de compensación  $\psi$  y el coeficiente de persecución  $\varphi$ , ha de ser menor que la tensión admisible para las fuerzas principales (según el cuadro 3: 1400 kg/cm<sup>2</sup> para acero St. 37.12, 2100 kg/cm<sup>2</sup> para acero St. 52):

(Ec. 12)

$$\sigma = \frac{\varphi(M_{g1} + M_{g2} + M_{g3}) + \psi \max. M_p}{W_x} \leq \sigma_{adm.}$$

$W_x$  se ha de referir al punto más desfavorable de la sección.

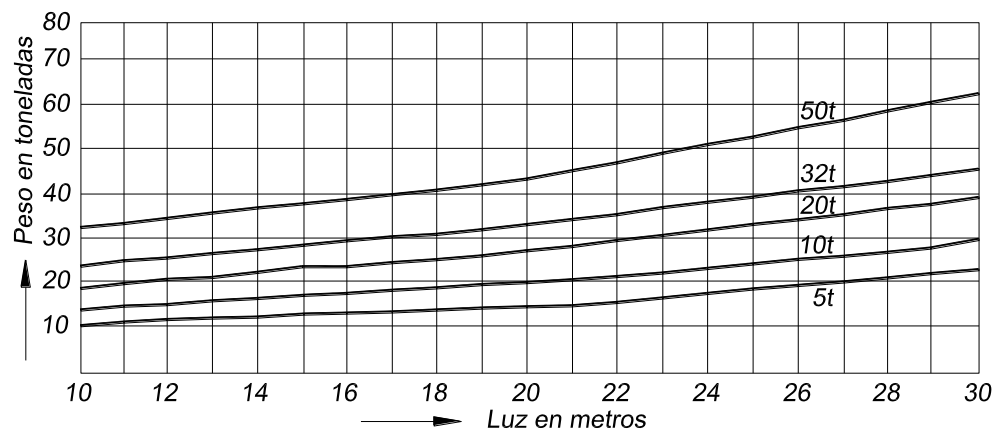
Para el caso de carga 2, según DIN 120 (fuerza principal y adicional), se han de tener en cuenta además, las fuerzas de frenado. Según la DIN 120, la fuerza de frenado se ha de admitir que es 1/7 de la carga de las ruedas frenadas. Cuando la

mitad de todas las ruedas de puente grúa se frenen, la desaceleración  $b$ , con  $G_{tot}$  como peso total de la grúa (grafica 7) y  $g$  como aceleración de la gravedad es:

(Ec. 13)

$$b = \frac{\text{fuerza de retardo}}{\text{masa}} = \frac{\frac{G_{tot}}{2} \frac{1}{7}}{\frac{G_{tot}}{g}} = \frac{g}{14}$$

**Grafica 7 Pesos propio totales de grúa puente accionados eléctricamente**  
(Ejecución Demag, según el libro Stahl imHochbau, 11ª edición, página 594)



**Fuente:** FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Winden und Krane (Band II). Brunswick: Vieweg&Sohn, 1961. p. 141.

La fuerza de inercia horizontal debida a la carga  $Q$  y al peso del carro  $G_k$

(Ec. 14)

$$\left( \frac{Q + G_k}{g} \right) \left( \frac{g}{14} \right) = \frac{Q + G_k}{14}$$

O por rueda:

(Ec. 15)

$$P' = \left( \frac{Q + G_k}{4} \right) \left( \frac{1}{14} \right) = \frac{P}{14}$$

El momento de flexión horizontal es:



(Ec. 16)

$$\max. M'_p = P' \left[ \frac{\left( \ell - \frac{a_1}{2} \right)^2}{2 \ell} \right] = \frac{\max. M_p}{14}$$

Aquí se añade el momento de flexión que actúa horizontalmente debido al peso propio de la viga de la grúa (añadiendo eventualmente el de la pasarela):

(Ec. 17)

$$M'_{g1} = \frac{g_e \ell^2}{14 * 8}$$

Y los momentos del accionamiento de la traslación y de la cabina del conductor:

(Ec. 18)

$$M'_{g2} = \frac{G_e \ell^2}{14 * 8} \approx \frac{M_{g2}}{7} \quad y \quad M'_{g3} \approx \frac{M_{g3}}{7}$$

La sollicitación total de las fuerzas principal y secundaria ha de ser menor que la sollicitación admisible para este caso (1600 kg/cm<sup>2</sup> para acero St. 37.12, 2400 kg/cm<sup>2</sup> para acero St. 52):

(Ec. 19)

$$\sigma = \left[ \frac{\varphi (M_{g1} + M_{g2} + M_{g3}) + \psi \max. M_p}{W_x} \right] + \left[ \frac{\max. M'_p + M'_{g1} + M'_{g2} + M'_{g3}}{\frac{W_y}{2}} \right] \leq \sigma_{adm}$$

$W_x$  y  $W_y$  se han de referir al mismo punto de la sección, el que da la sollicitación más desfavorable.

La flecha debida a la carga móvil, corrientemente, en vigas de alma llena, no ha de valer más de 1/750 de la luz.

Con iguales presiones de rueda  $P$ , la flecha en el centro de la viga es:

(Ec. 20)

$$f = \frac{P}{48 J E} (\ell - a_1) [3 \ell^2 - (\ell - a_1)^2]$$

$f$  en cm, poniendo todas las magnitudes en cm y kg. Con esto, también se puede calcular de antemano el momento de inercia  $J$  de la viga, ya que en las vigas de perfil  $H$ , a excepción de los grandes perfiles, la flecha es casi siempre el factor determinante, si se han de mantener los valores arriba mencionados. Sin embargo, las tensiones de la viga se han de comprobar en todos los casos.

### 5.4.3. Viga de plancha de alma llena

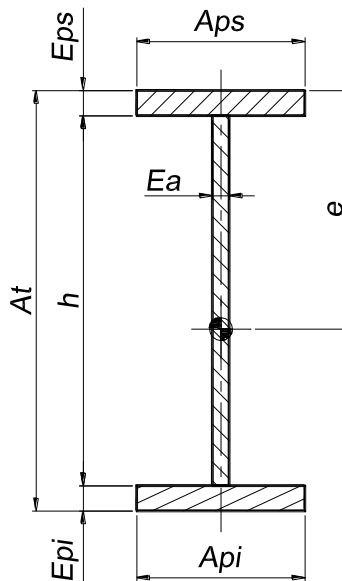
Los momentos de flexión debidos a la carga móvil y a las cargas del peso propio, así como la flecha de la viga, se calculan de la misma manera que en el caso de la viga de perfil laminado.

Teniendo en cuenta su reducida rigidez lateral, de ordinario, los cordones superior e inferior se sujetan cada uno con un arriostrado horizontal que, a su vez, esta sostenido por una viga secundaria, casi siempre en celosía.

Calculo de viga principal en perfil laminado.

#### Figura 15 Viga de Perfil de Alma Llena

Aps-Ancho del patín superior, Eps-Espesor del patín superior, h-Altura del alma, Ea-Espesor del alma, Api-Ancho del patín inferior, Epi-Espesor del patín inferior, At-Altura total



Distancia del centro de gravedad.

(Ec. 21)

$$e = \frac{\left[ Aps * Eps * \left( \frac{Eps}{2} \right) \right] + \left[ h * Ea * \left( Eps + \frac{h}{2} \right) \right] + \left[ Epi * Api * \left( Eps + h + \frac{Epi}{2} \right) \right]}{[Aps * Eps] + [h * Ea] + [Epi * Api]}$$

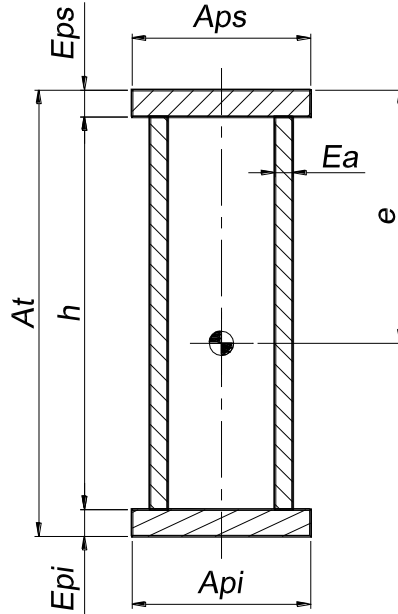
Momento de inercia horizontal del perfil estimado, de acuerdo a la altura del alma (h)

(Ec. 22)

$$Jp = \left( \frac{Ea * h^3}{12} \right) + \left[ Aps * Eps * \left( e - \frac{Eps}{2} \right)^2 \right] + \left[ Api * Epi * \left( At - e - \frac{Epi}{2} \right)^2 \right] + \left[ h * Ea * \left( e - \frac{h}{2} \right)^2 \right]$$

**Figura 16 Viga de Perfil de Alma Llena Doble**

Aps-Ancho del patín superior, Eps-Espesor del patín superior, h-Altura del alma, Ea-Espesor del alma, Api-Ancho del patín inferior, Epi-Espesor del patín inferior, At-Altura total



Momento de inercia horizontal del perfil estimado, de acuerdo a la altura del alma (h),

(Ec. 23)

$$Jp = \left( \frac{Ea * h^3}{12} \right) + \left[ Aps * Eps * \left( e - \frac{Eps}{2} \right)^2 \right] + \left[ Api * Epi * \left( At - e - \frac{Epi}{2} \right)^2 \right] + \left[ 2 * h * Ea * \left( e - \frac{h}{2} \right)^2 \right]$$

Para cualquier perfil de plancha de alma llena sencilla o doble, los momentos a compresión y a flexión vienen dados por:

Momento Resistente a Compresión

(Ec. 24)

$$Wxo = \frac{Jp}{e}$$

Momento Resistente a Flexión

(Ec. 25)

$$Wxu = \frac{Jp}{(At - e)}$$

Como el momento de flexión horizontal debido a las fuerzas de frenado, M', es absorbido por los cordones superiores de la viga principal y secundaria, situadas a una distancia entre si igual al ancho de la pasarela, Ap, calcularemos la tensión o sollicitación en el cordón superior, donde:

La fuerza del cordón superior es:

(Ec. 26)

$$O = \frac{M'}{Ap}$$

El área de la sección para el cordón superior es:

(Ec. 27)

$$F = (Aps * Eps) + [(e - Eps) * Ea]$$

Así la tensión o sollicitación en el cordón superior viene dada por:

(Ec. 28)

$$\sigma' = \frac{O}{F}$$

Para este caso la sollicitación total de las fuerzas principal y adicional es:

(Ec. 29)

$$\sigma = \left[ \frac{\max. M_{total}}{W_{xo}} \right] + \sigma' = \left[ \frac{\max. M_p + M_{g1} + M_{g2} + M_{g3}}{W_{xo}} \right] + \sigma' \leq \sigma_{adm}$$

## 5.5. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA VIGA, MÉTODO LRFD.

El comportamiento estructural de los miembros a flexión depende fundamentalmente de los siguientes factores:

- Resistencia a flexión.
- Resistencia a corte.
- Magnitud de las deflexiones.

Adicionalmente, el comportamiento de las vigas puede verse afectado por la presencia de sollicitaciones secundarias tales como fuerza axial o torsión, o bien por alguna imperfección del material, defectos de producción, tensiones residuales, condiciones inadecuadas de construcción, cambios de temperatura u otros casos aleatorios.

Por lo general, el diseño de las vigas se reduce a determinar su resistencia a flexión como principal sollicitación y luego a verificar el corte. Sin embargo en vigas especiales, como las de luz limitada y fuertemente cargada, el esfuerzo a cortante puede controlar el diseño.

La resistencia a flexión se concentra fundamentalmente en las alas de los perfiles, las cuales proporcionan la mayor inercia con respecto al eje neutro de la sección, mientras que el esfuerzo cortante es soportado por el alma.

Para lograr una adecuada respuesta estructural, la viga se debe colocar de modo que las cargas actúen aplicadas con el eje más débil, de modo que la sección resista con su eje fuerte, el de mayor momento de inercia.

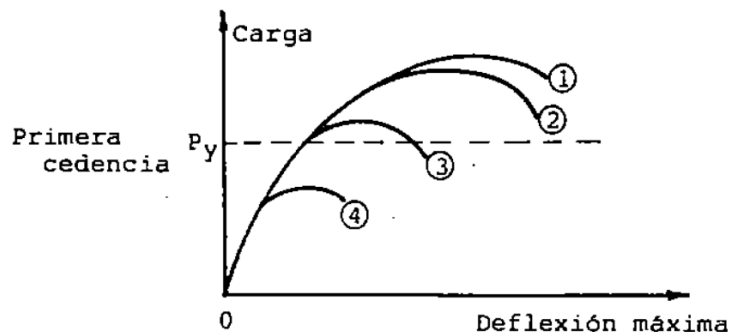
Analizaremos las vigas de eje longitudinal recto y horizontal, bajo la acción de cargas verticales, y materializadas en secciones armadas con planchas soldadas en forma de doble "T" o "H". Las vigas pueden fallar por:

- Fluencia
- Pandeo
- Pandeo lateral y torsional

La grafica 8 muestra las curvas del diagrama carga-deformación para diferentes vigas:

- La curva 1 corresponde a una viga compacta que alcanza la falla por cedencia bajo la acción de un momento constante en toda su longitud.
- La curva 2 es similar a la primera, pero soporta un momento variable (con gradiente de momento).
- La curva 3 representa una viga que cede más allá de su primera fluencia en las fibras externas pero no llega a formar articulación plástica porque la falla sobreviene por alguna inestabilidad en el rango elasto-plástico.
- La curva 4 corresponde a una viga esbelta donde la falla se presenta por causa de la inestabilidad en régimen elástico antes de que se alcance la primera fluencia en las fibras de la sección.

**Grafica 8    Diferentes tipos de falla**



**Fuente:** MARIA, Graciela Fratelli. Diseño de Estructuras Metálicas: Estado Limites LRFD, 2003. p. 350.

**5.5.1. Límite de resistencia por cedencia.** Este es el caso de las vigas compactas capaces de formar una o más articulaciones plásticas en la luz, donde el momento máximo teórico  $M_t$  vale:

(Ec. 30)

$$M_t = M_p = F_y Z_x < 1,5 M_y$$

$F_y$  Esfuerzo de fluencia del material.

$M_y$  Momento de fluencia, hallado por la expresión:

(Ec. 31)

$$M_y = F_y S_x$$

$S_x$  Módulo de la sección, que es igual a:

(Ec. 32)

$$S_x = \frac{I_{xx}}{h/2}, \text{ Siendo } h \text{ la altura del perfil.}$$

$Z_x$  Modulo plástico, se calcula como sigue:

(Ec. 33)

$$Z_x = A_f h_f + A_w (h/4)$$

Siendo:

$A_f$  Área del ala.

$h_f$  Altura o espesor del ala.

$A_w$  Área del alma.

$h$  Altura de la viga.

Ahora:

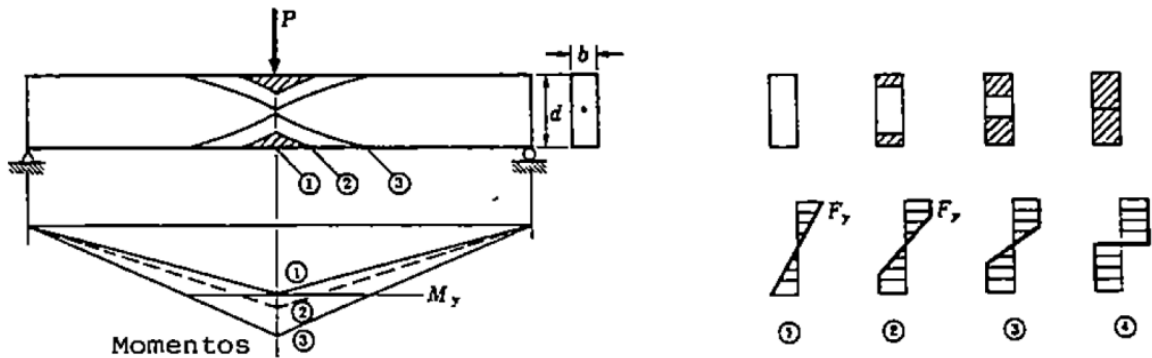
$M_p$  Momento plástico de la sección.

(Ec. 34)

$$M_p = F_y Z_x$$

Representados como se observa en la siguiente gráfica:

**Grafica 9 Plastificación de la sección transversal de una viga**



**Fuente:** MARIA, Graciela Fratelli. Diseño de Estructuras Metálicas: Estado Limites LRFD, 2003. p. 350.

Para alcanzar el límite de fluencia, una viga debe estar libre de colapsar por fallas prematuras debidas al pandeo local o al pandeo lateral torsional. En todos los casos, la posibilidad de inestabilidad local o global disminuye la capacidad resistente de la viga.

Las configuraciones de falla por fluencia o por inestabilidad son diferentes y dependen de las dimensiones y las características de los elementos de la sección transversal de los miembros que se analizan y de las distancias donde se ubican los soportes laterales. Además, la experiencia ha demostrado que si bien la falla por pandeo local y por pandeo lateral torsional se plantean como dos fenómenos independientes entre sí, en la mayoría de los casos están estrechamente relacionados y la ocurrencia de uno de ellos favorece la aparición del otro.

**5.5.2. Inestabilidad por pandeo local.** Al producir la flexión en una viga, una parte de la sección a un lado del eje neutro soporta esfuerzos de compresión, mientras la otra porción soporta esfuerzos de tensión. Por este motivo, la zona comprimida se asimila a una columna cuyos elementos o componentes pueden sufrir la bifurcación del equilibrio en forma independiente o conjunta, pandeando alrededor del eje débil dependiendo de su esbeltez. Analizando este efecto de forma separada, lo diferenciaremos así:

- Pandeo local del ala comprimida.

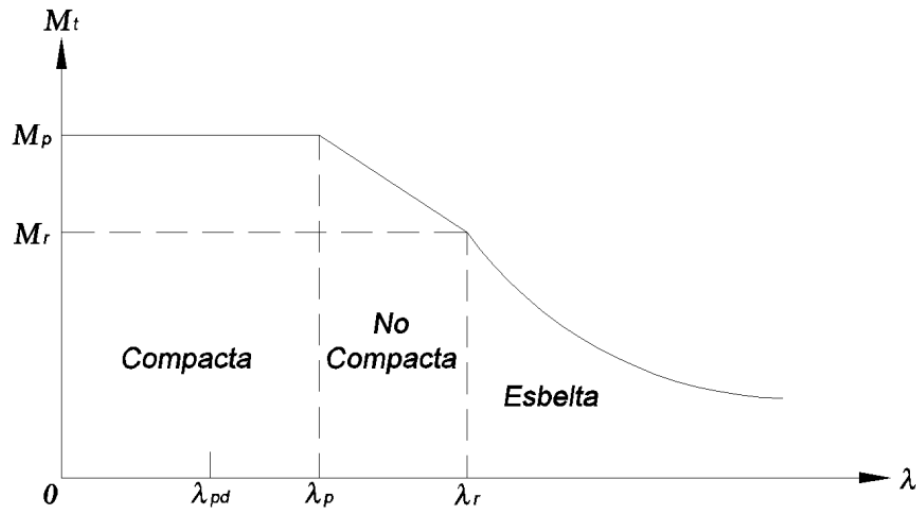


- Pandeo local del alma.

En función del parámetro de esbeltez  $\lambda$ , que representa en cada caso la relación ancho/espesor de los diferentes elementos de su sección transversal, las vigas se clasifican en:

- Vigas compactas
- Vigas no compactas
- Vigas esbeltas

**Grafica 10 Clasificación de las secciones según el pandeo**



**Fuente:** MARIA, Graciela Fratelli. Diseño de Estructuras Metálicas: Estado Limites LRFD, 2003. p. 351.

**5.5.3. Vigas compactas.** Se definen como compactas las vigas cuya sección transversal respeta las siguientes relaciones de ancho/espesor de sus elementos o componentes:

Para las alas:

$$\lambda = \frac{b_f}{2 t_f} \leq \begin{cases} \lambda_{pd} = \frac{436}{\sqrt{F_y}} & \text{para diseño en regimen plastico} \\ \lambda_p = \frac{545}{\sqrt{F_y}} & \text{para diseño en regimen elastico} \end{cases}$$

Para el alma:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \leq \begin{cases} \lambda_{pd} = \frac{4360}{\sqrt{F_y}} & \text{para diseño en regimen plastico} \\ \lambda_p = \frac{5370}{\sqrt{F_y}} & \text{para diseño en regimen elastico} \end{cases}$$

Las vigas compactas en ausencia de pandeo lateral torsional, alcanzan el límite de su resistencia por fluencia, como se plantea en la ecuación 30.

La resistencia de diseño en flexión debe cumplir:

(Ec. 35)

$$\Phi_b M_t = \Phi_b M_p \geq M_u$$

Para  $\Phi_b = 0.9$

$M_u$  es la resistencia requerida a flexión.

#### 5.5.4. Vigas no compactas

Se designan por no compactas las vigas en las que la relación de esbeltez  $\lambda$  en uno o más de sus elementos o componentes (ala comprimida o alma) excede el límite de diseño en régimen elástico dados en las vigas compactas, pero se mantiene acotado dentro de los siguientes valores:

Para las alas:

(Ec. 36)

$$\lambda_p = \frac{545}{\sqrt{F_y}} < \lambda = \frac{b_f}{2 t_f} \leq \lambda_r = \frac{1360}{\sqrt{\frac{(F_y - F_r)}{K_c}}}$$

$F_r = 1160 \text{ kg/cm}^2$  es el esfuerzo residual de compresión en el ala, y este valor es para los perfiles soldados.

$$k_c = \frac{4}{(h/t_w)} \text{ y debe de estar entre los límites de } 0,35 \leq k_c \leq 0,763$$

Para el alma:

(Ec. 37)

$$\lambda_p = \frac{5370}{\sqrt{F_y}} < \lambda = \frac{h}{t_w} \leq \lambda_r = \frac{8130}{\sqrt{F_y}}$$

En los perfiles no compactos, el límite de la resistencia se alcanza cuando en alguno de los elementos de la sección transversal (el más esbelto) se produce pandeo local luego que la sección ha cedido debido a la superposición del esfuerzo aplicado y del esfuerzo residual pre existente  $F_r$ .

Por lo tanto, el pandeo local se alcanza en régimen elasto-plástico. En las secciones no compactas, el momento resistente teórico de diseño será:

(Ec. 38)

$$M_t = M_p - (M_p - M_r) \left( \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \leq M_p$$

Dónde:

$$M_p = F_y Z_x$$

y

(Ec. 39)

$$M_r = F_L S_x$$

$F_L$  es el menor valor entre:  $(F_{yf} - F_r)$  y  $F_{yw}$

$F_{yf}$  es el esfuerzo cedente de las alas.

$F_{yw}$  es el esfuerzo cedente del alma.

Si en la sección transversal de una viga unos elementos o componentes son compactos y otros no compactos (según la clasificación que se detalló previamente), el más esbelto de los no compactos es el que controla el diseño con respecto al pandeo.

**5.5.5. Vigas esbeltas.** Se designan esbeltas las vigas para las cuales la máxima relación  $\lambda$  de uno o más de sus elementos o componentes excede la esbeltez  $\lambda_t$  que se indica a continuación:

Para las alas:

$$\lambda = \frac{b_f}{2 t_f} > \lambda_r = \frac{1360}{\sqrt{\frac{(F_y - F_r)}{K_c}}}$$

Para el alma:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} > \lambda_r = \frac{8130}{\sqrt{F_y}}$$

La resistencia a flexión por pandeo local del ala comprimida resulta:

(Ec. 40)

$$M_t = S_x F_{cr}$$

Dónde:

$$F_{cr} = \frac{C_{pg}}{\lambda^2}$$

Para  $C_{pg} = 1,84 \times 10^6 K_c$

El momento límite resistente es el menor valor del momento teórico  $M_t$  calculado para los estados de agotamiento resistente a plastificación de ala traccionada o por pandeo del ala comprimida.

<b>Cuadro 8 Relaciones ancho/espesor para elementos comprimidos no rigidizados</b>				
Valores Límites				
Elemento	Relación ancho/espesor	Sección plástica $\lambda_{pd}$	Sección compacta $\lambda_p$	Sección no compacta $\lambda_r$
<b>Compresión por flexión:</b>  Alas de vigas híbridas doble "T" y soldadas	b/t	$\frac{436}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{545}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{1360}{\sqrt{\frac{(F_y - F_r)}{K_c}}}$
Para el alma	h/t <sub>w</sub>	$\frac{4360}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{5370}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{8130}{\sqrt{F_y}}$

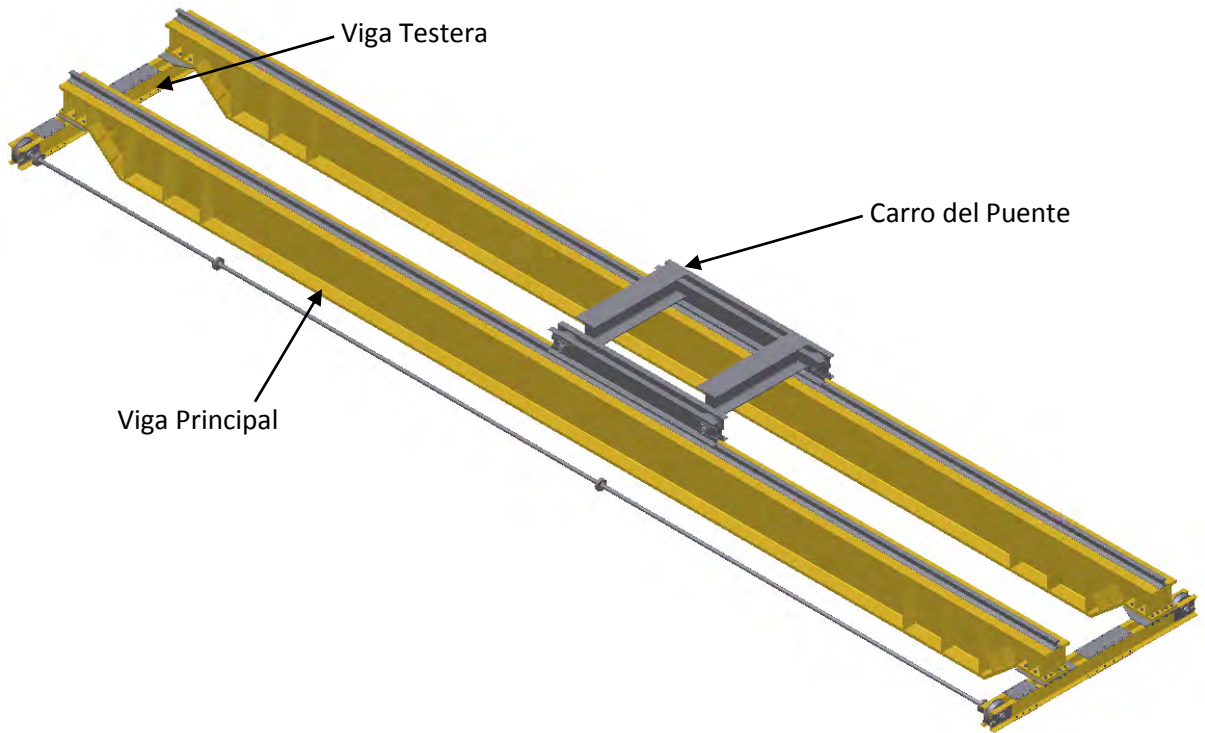
**Fuente:** MARIA, Graciela Fratelli. Diseño de Estructuras Metálicas: Estado Límites LRFD, 2003. p. 84.

<b>Cuadro 9 Relaciones ancho/espesor para elementos comprimidos rigidizados</b>				
Valores Limites				
Elemento	Relación ancho/espesor	Sección plástica $\lambda_{pd}$	Sección compacta $\lambda_p$	Sección no compacta $\lambda_r$
<b>Compresión por flexión:</b>  Alas de sección cajón cuadrada o rectangular, secciones huecas de espesor uniforme. Planchas de cubierta y diafragma entre líneas de conectores o cordones de soldadura.	b/t		$\frac{1590}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{2000}{\sqrt{F_y}}$
Para el alma	h/t <sub>w</sub>	$\frac{4360}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{5370}{\sqrt{F_y}}$	$\frac{8130}{\sqrt{F_y}}$

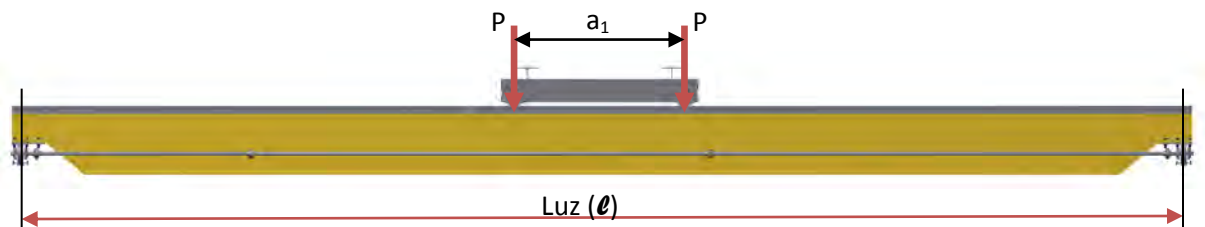
**Fuente:** MARIA, Graciela Fratelli. Diseño de Estructuras Metálicas: Estado Limites LRFD, 2003. p. 85.

## 6. PROCESO DE CALCULO DE LA VIGA PRINCIPAL

Figura 17 Esquema de puente grúa



Calcularemos la viga principal para el siguiente puente grúa



Se necesita conocer los siguientes datos:

Luz ( $\ell$ ): 1200 cm

Capacidad de puente grúa: 16 Ton

Distancia ejes de Ruedas ( $a_1$ ): 210 cm

Pasarela: No

Cabina: No

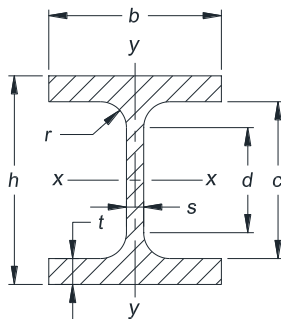
## 6.1. VIGA DE PERFIL LAMINADO

Usando la gráfica 1, la presión de la rueda del carro es  $P=5.285 \text{ kg}$  y, de acuerdo a la luz, la flecha  $f=0/750$  (ver página 50), donde  $f=1,6 \text{ cm}$

Teniendo estos valores de  $P$  y  $f$ , usamos la ecuación 20 con  $E=2,04e6 \text{ kg/cm}^2$ :

$J = 111.537,85 \text{ cm}^4$  Inercia requerida para las condiciones del puente grúa.

La inercia calculada es la mínima requerida para obtener la flecha de  $1,6 \text{ cm}$ , seleccionamos un perfil laminado  $W24-162$  que tiene una inercia de  $215.400 \text{ cm}^4$  (ver anexo A).



PERFILE HE

Dimensiones y propiedades para el diseño

DESIGNACION	DIMENSIONES							AREA	PESO	PROPIEDADES ELASTICAS						MODULO PLASTICO		CONS TORS	
	ALTURA		ALA		DISTANCIAS					EJE X-X			EJE Y-Y						
	h	s	b	t	r	c	d			Ix	Sx	rx	Iy	Sy	ry	Zx	Zy		Jt
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>		cm <sup>4</sup>
W24x162	635,00	17,90	329,00	31,00	13,00	573,00	547,00	308,00	241,08	215.400,00	6.785,00	26,40	18.430,00	1.120,00	7,74	7.671,00	1.725,00	776,00	

Usando la ecuación 20 hallamos la flecha del perfil seleccionado:

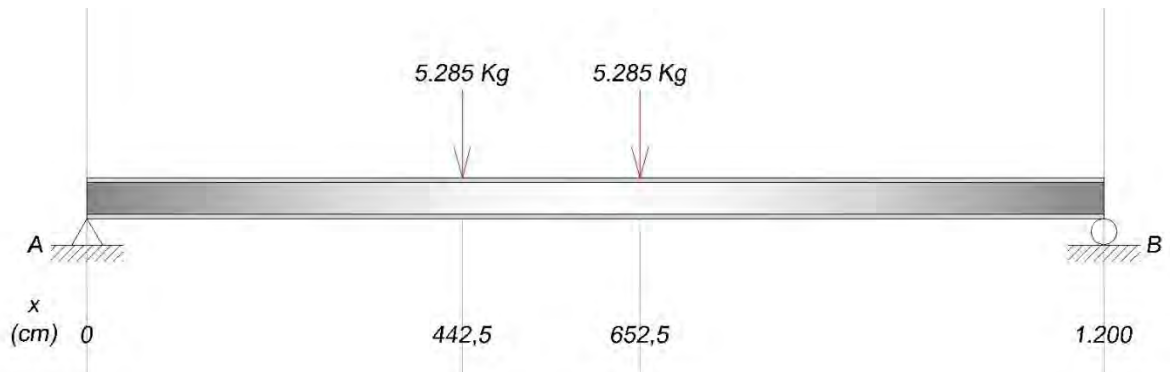
$$f = 0,83 \text{ cm}$$

Ahora verificamos si el perfil cumple con los requerimientos de carga a las cuales estará sometido.

De acuerdo a la ecuación 8 el momento máximo de una viga solicitada bajo 2 cargas móviles P de igual magnitud es:

$$\max. M_p = 2.640.352,97 \text{ kg.cm}$$

**Grafica 11 Diagrama de fuerza, 2 cargas móviles P de igual magnitud.**

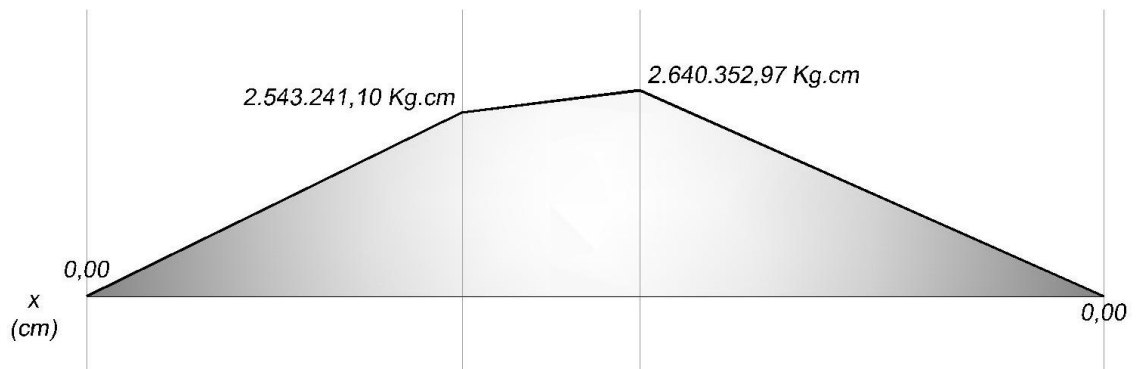


**Grafica 12 Diagrama de cortante [V (cm)], 2 cargas móviles P de igual magnitud.**





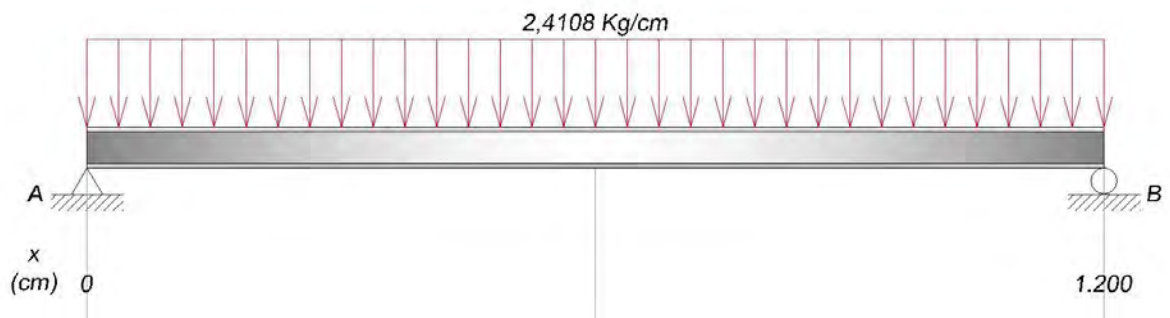
**Grafica 13 Diagrama de momento [M (kg.cm)], 2 cargas móviles P de igual magnitud.**



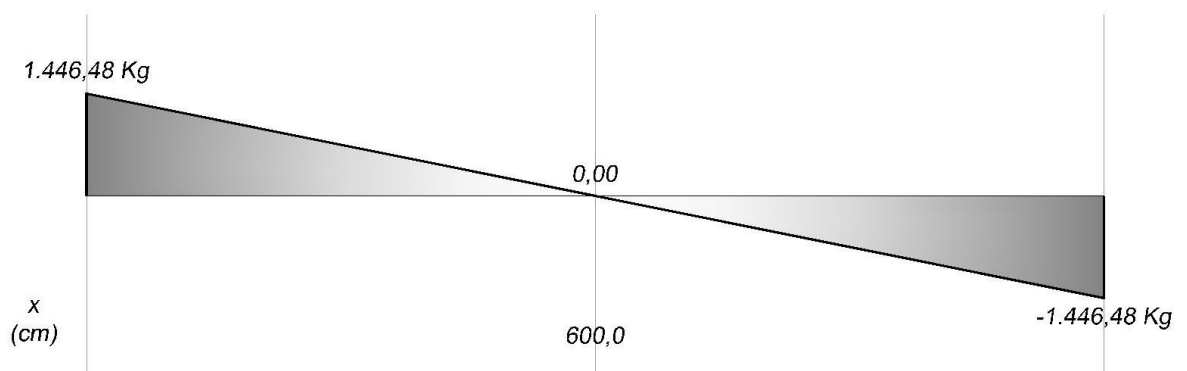
Calcularemos el momento de flexión producido por el peso propio, hallado en el centro de la viga, usando la ecuación 10:

$$M_{g1} = 433.910,92 \text{ kg. cm}$$

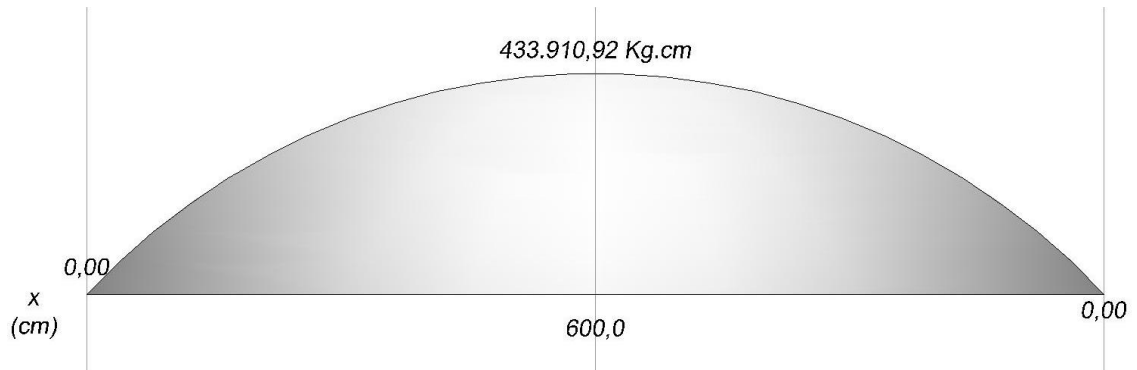
**Grafica 14 Diagrama de fuerza, carga distribuida peso propio de la viga.**



**Grafica 15 Diagrama de cortante [V (kg)], carga distribuida peso propio de la viga.**



**Grafica 16 Diagrama de momento [M (kg.cm)], carga distribuida peso propio de la viga.**

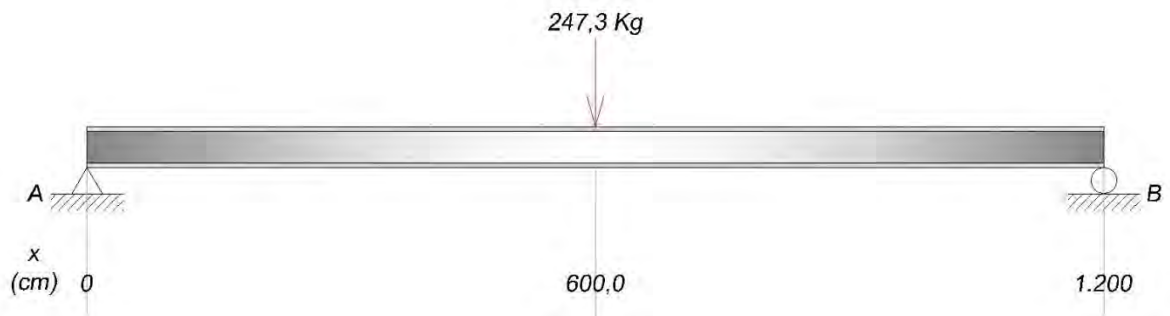


Ahora obtendremos el momento de flexión producido por el sistema de accionamiento de traslación del puente grúa, donde estimaremos el uso de un motor de 5 HP, el cual según grafica 5, tiene un peso aproximado de 494.59 kg.

Usando la ecuación 11:

$$M_{g2} = 74.187,75 \text{ kg.cm}$$

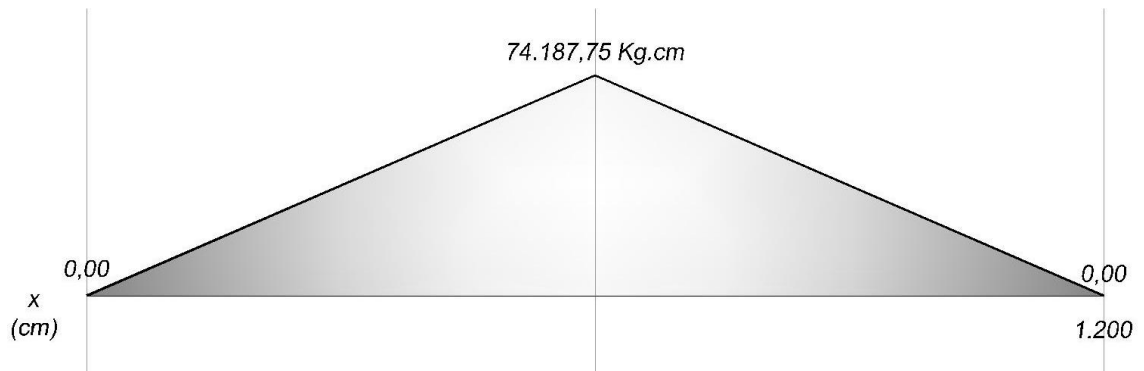
**Grafica 17 Diagrama de fuerza, carga centrada del peso del motor.**



**Grafica 18 Diagrama de cortante [V (kg)], carga centrada del peso del motor.**



**Grafica 19 Diagrama de momento [M (kg.cm)], carga centrada del peso del motor.**



Bien, ahora calcularemos el esfuerzo debido a las fuerzas principales usando la ecuación 12:

De acuerdo al cuadro 6 y 7,  $\psi=1.4$  y  $\varphi=1.1$  y del perfil seleccionado  $w_x = s_x = 6.785 \text{ cm}^3$ .

$$\sigma = 627,25 \text{ kg/cm}^2$$

De acuerdo al cuadro 3 la fatiga admisible para un acero de 37 kg es de 1.400  $\text{kg/cm}^2$ , donde:

$$\sigma = 627,25 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{\text{adm}} = 1.400 \text{ kg/cm}^2, \text{ por lo tanto cumple.}$$

Ahora usando las ecuaciones 16,17 y 18 obtenemos:

$$\max. M'_p = 188.596,64 \text{ kg. cm}$$

$$M'_{g1} = 30.993,64 \text{ kg. cm}$$

$$M'_{g2} = 10.598,25 \text{ kg. cm}$$

Empleando la ecuación 19 hallamos los esfuerzos debido a las fuerzas principales y secundarias o adicionales, dados en el punto más crítico de la sección.

$$\sigma = 1.038,16 \text{ kg/cm}^2$$

De acuerdo al cuadro 3 la fatiga admisible para un acero de 37 kg es de 1.600 kg/cm<sup>2</sup>, donde:

$$\sigma = 1.038,16 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{adm} = 1.600 \text{ kg/cm}^2, \text{ por lo tanto cumple.}$$

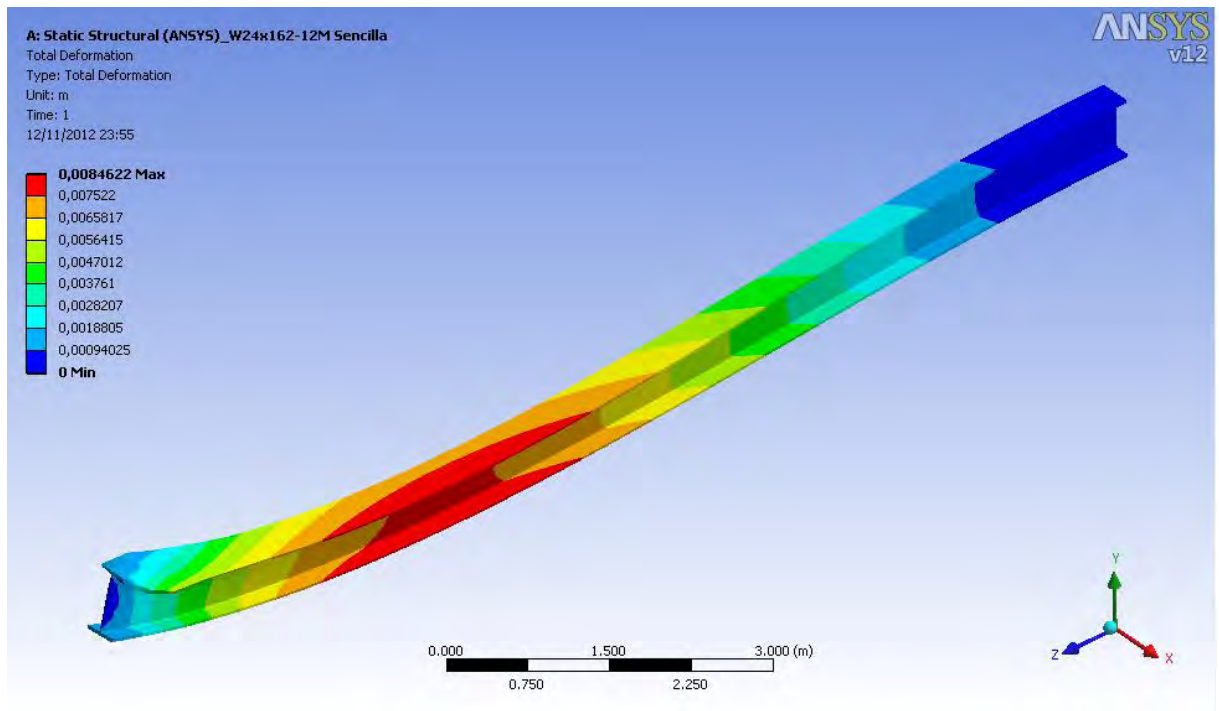
#### **6.1.1. Análisis de la viga de perfil laminado por elementos finitos en Ansys.**

Mediante el análisis de elementos finitos (FEA) se pretende verificar el cálculo analítico, y a sus vez, observar mediante la ayuda del software como se presentan las deformación y esfuerzos sobre la viga.

Inicialmente se realizó el modelado del solido del perfil en Autocad y se exporto en un archivo \*.sat, el cual, es un archivo de intercambio de bits que podrá reconocer el programa Ansys. Usaremos el módulo Workbench de Ansys para calcular la viga, seleccionamos como tipo de cálculo a realizar un análisis estático estructural, después se importa el modelo, se realiza enmallado y fijamos las restricciones. Un extremo fijo y el otro libre, colocamos las cargas de la presión de las ruedas de  $P=52.850 \text{ N}$ , desde un extremo común de la viga, a distancias de 5,475 m y 7,575 m.

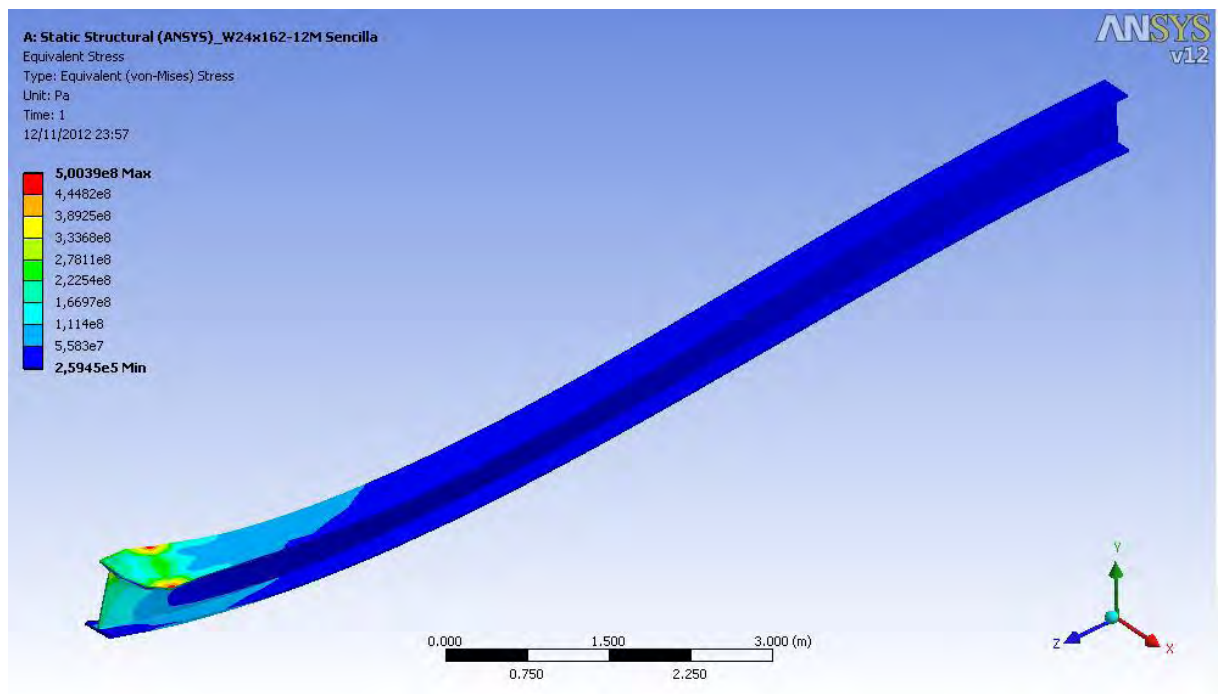
Después de haber colocado las restricciones y cargas, seleccionamos el tipo de resultados que deseamos ver, para este caso, veremos las deformaciones totales, los esfuerzos equivalentes (von-Mises) y el factor de seguridad.

**Figura 18** Deformaciones totales, programa Ansys.



De acuerdo al análisis realizado en Ansys, la mayor flecha es de  $f = 8,46E-3$  m que es igual a  $f = 0,846$  cm, por lo tanto, cumple con lo calculado analíticamente y, es una deformación aceptable para la luz y carga a las cuales trabajara el puente grúa.

**Figura 19 Esfuerzos equivalentes (von-Mises), programa Ansys.**

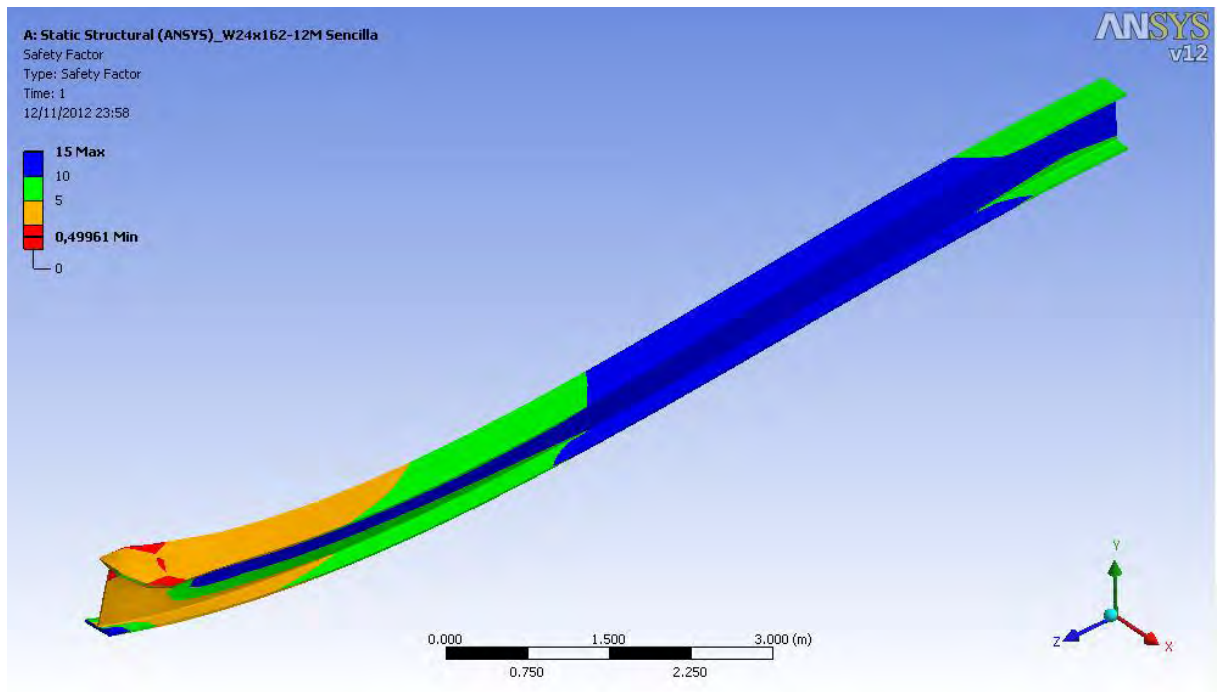


El esfuerzo máximo se presenta en las alas del perfil, al extremo libre. En la práctica los extremos se deben reforzar para incrementar su rigidez (colocar refuerzos verticales entre las alas).

A lo largo de la viga se da un esfuerzo de 111,4 MPa (de acuerdo a la gráfica), si la viga de perfil laminado se fabrica con un acero estructural con fluencia de 248,2 MPa (36Ksi), su esfuerzo de trabajo es 0,6 veces el de fluencia, así, el esfuerzo sería de 148,92 MPa, este esfuerzo del material cumple, pero estaría muy cerca de la falla por fluencia, para ello se usaría un material con fluencia de 344,7 MPa (50Ksi) y trabajaría con una fluencia de 206,8 MPa.

Fabricar la viga con un material de alto esfuerzo de fluencia nos daría una mayor confiabilidad sin olvidar su excelente resistencia.

**Figura 20** Factor de seguridad, programa Ansys.



Como podemos observar en los resultados obtenidos con Ansys, al igual que los esfuerzos equivalentes, el menor factor de seguridad de 0,49961 lo tenemos en las alas, de acuerdo a las restricciones impuestas, es el extremo libre, pero podemos observar que en general el factor de seguridad se acerca a 5 y se eleva a 15 a lo largo de la viga, este caso es para la condición más crítica de la carga, como ya lo evaluamos, es cuando una rueda se encuentra a 1/4 de la distancia entre ruedas cerca del centro de la viga.

## 6.2. VIGA DE ALMA LLENA DOBLE

De acuerdo a la inercia requerida calcularemos el perfil de alma llena doble, los cálculos son idénticos al de perfil laminado, tan solo, se deberá tener en cuenta el cálculo de las propiedades del perfil.

De acuerdo a la figura 16:

$$\begin{aligned}A_{ps} &= A_{pi} = 30 \text{ cm} \\E_{ps} &= E_{pi} = 0,8 \text{ cm} \\h &= 70 \text{ cm} \\E_a &= 0,5 \text{ cm}\end{aligned}$$

Usando la ecuación 23,  $J_p = 88.779,81 \text{ cm}^4$  y la flecha, despejando la ecuación 20,  $f = 2,01 \text{ cm}$ . La flecha obtenida es mucho mayor que  $f = 1,6 \text{ cm}$ , mínima calculada.

Ahora, usando la relación de altura del alma de  $h = 0/15$ ,  $h = 80 \text{ cm}$  y la inercia obtenida es de  $J_p = 121.061,55 \text{ cm}^4$  y una flecha de  $f = 1,46 \text{ cm}$ , siendo magnitudes óptimas para la selección.

De acuerdo a las dimensiones del perfil, calcularemos las propiedades de la sección:

Peso del perfil:  $100,61 \text{ kg/m}$

Como el perfil es simétrico (ecuaciones 24, 25 y 32),  $w_{x0} = w_{xu} = s_x = 2.967,19 \text{ cm}^3$ .

Ahora, usando un material con esfuerzo de fluencia de  $F_y = 2.400 \text{ kg/cm}^2$

Momento de fluencia (ecuación 31),  $M_y = 7.121.267,45 \text{ kg.cm}$

Modulo plástico (ecuación 33),  $Z_x = 3.539,20 \text{ cm}^3$

Momento plástico (ecuación 34),  $M_p = 8.494.080,00 \text{ kg.cm}$



Analizaremos el perfil seleccionado por inestabilidad por pandeo para el ala y el alma:

Para las alas:

$$\lambda = \frac{30}{2 \cdot 0,8} \Rightarrow \lambda = 18,75, \text{ de acuerdo al cuadro 9, } \lambda = 18,75 < \lambda_p = 32,46$$

Por lo tanto es compacta en el régimen elástico, y la resistencia requerida a flexión viene dada por la ecuación 35:

$$\Phi_b M_t = 0,9 * 8.494.080,00 \text{ kg. cm} \Rightarrow \Phi_b M_t = 7.644.672,00 \text{ kg. cm}$$

Para este caso conservamos los valores de máx.  $M_p$  y  $M_{g2}$  hallados para la viga de perfil laminado, ya que no dependen de las propiedades del perfil, y calculamos  $M_{g1}$ :

$$\text{max. } M_p = 2.640.352,97 \text{ kg. cm}$$

$$M_{g1} = 181.094,40 \text{ kg. cm}$$

$$M_{g2} = 74.187,75 \text{ kg. cm}$$

Ahora el  $M_u$  viene siendo:

$$M_u = \text{max. } M_p + M_{g1} + M_{g2} \Rightarrow M_u = 2.895.635,12$$

Por lo tanto  $\Phi_b M_t > M_u$ , el ala cumple por flexión.

Para el alma:

$$\lambda = \frac{80}{0,5} \Rightarrow \lambda = 160, \text{ de acuerdo al cuadro 9, } \lambda_p = 109,61 < \lambda = 160 < \lambda_r = 347,19$$

Por lo tanto es no compacta, y la resistencia requerida a flexión debe cumplir con la ecuación 38, donde:

$$M_t = 4.822.408,87 \text{ kg. cm}$$

Entonces  $M_t = 4.822.408,87 \text{ kg. cm} < M_p = 8.494.080,00 \text{ Kg.cm}$ , el alma cumple a flexión.

Como el alma es más esbelta que el ala, esta controla el diseño con respecto al pandeo.

Al igual que con el perfil laminado, verificamos si el perfil cumple con los requerimientos de carga a las cuales estará sometido.

$$\sigma = 1.349,03 \text{ kg/cm}^2$$

De acuerdo al cuadro 3 la fatiga admisible para un acero de 37 kg es de 1.400 kg/cm<sup>2</sup>, donde:

$$\sigma = 1.349,03 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{adm} = 1.400 \text{ kg/cm}^2, \text{ por lo tanto cumple.}$$

Como no tenemos pasarela, omitimos el momento de flexión horizontal debido a las fuerzas de frenado,  $M'$ , que es absorbido por los cordones superiores de la viga principal y secundaria, y empleando la ec.29 hallamos los esfuerzos debido a las fuerzas principales y secundarias o adicionales, dados en el punto más crítico de la sección así:

$$\sigma = 975,88 \text{ kg/cm}^2$$

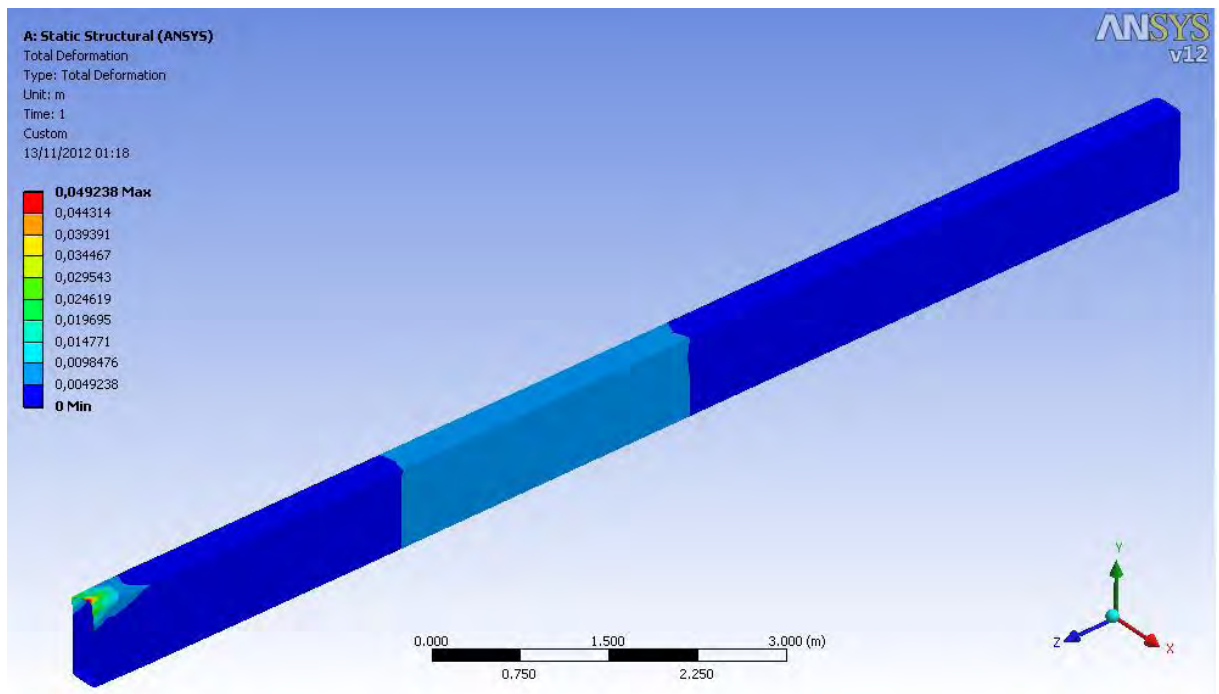
De acuerdo al cuadro 3 la fatiga admisible para un acero de 37 kg es de 1.600 kg/cm<sup>2</sup>, donde:

$$\sigma = 975,88 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{adm} = 1.600 \text{ kg/cm}^2, \text{ por lo tanto cumple.}$$

### 6.2.1. Análisis de la viga de alma llena doble por elementos finitos en Ansys

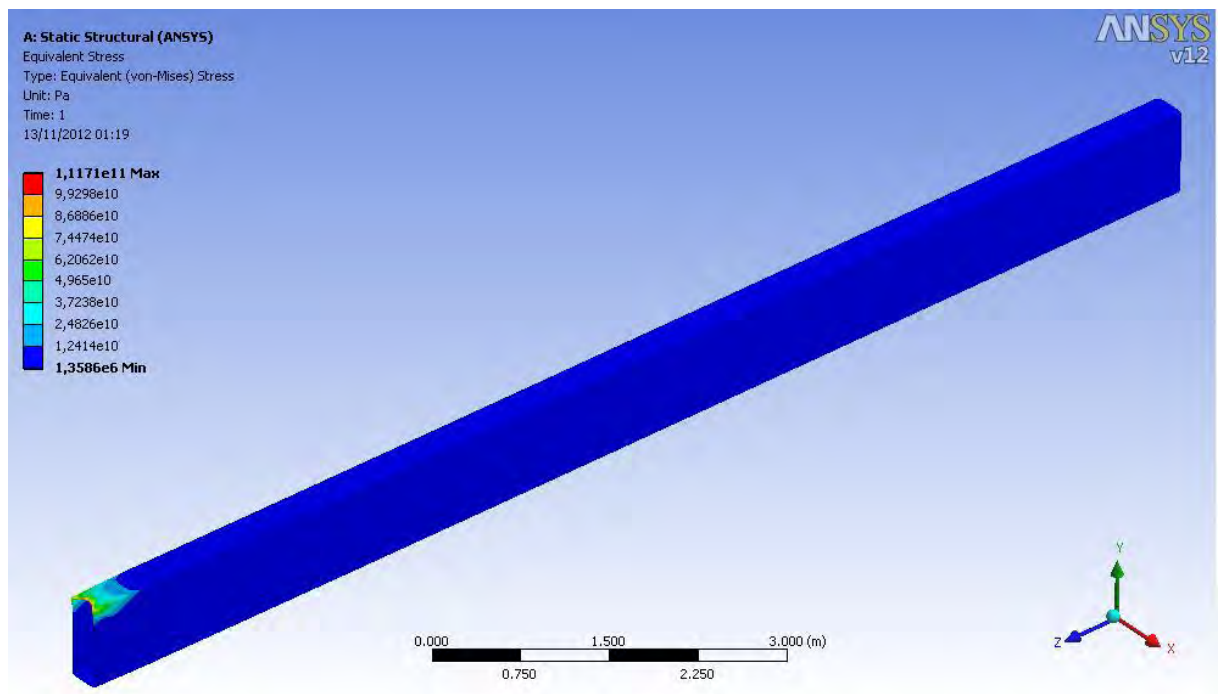
Al igual que el análisis FEA realizado para el perfil laminado, lo realizamos para el perfil de alma llena doble o cajón, así obtuvimos los siguientes resultados:

**Figura 21** Deformaciones totales, programa Ansys.



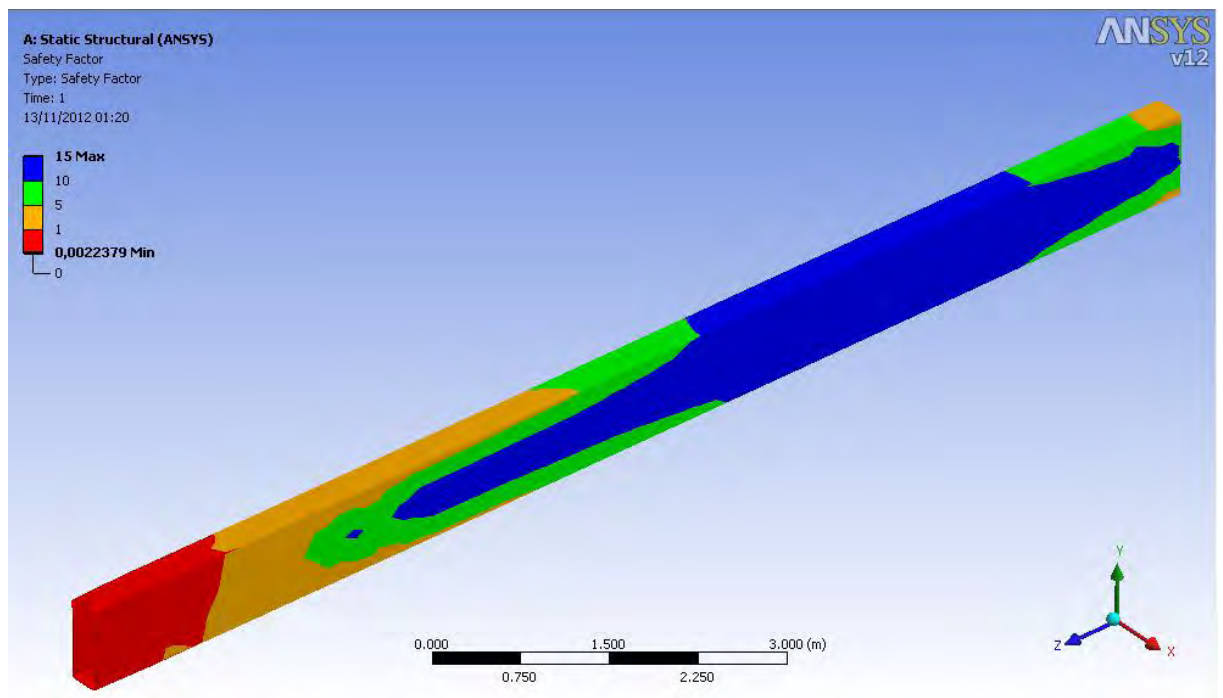
La máxima deformación se da al borde del ala, pero, en el centro de la viga se obtuvo una deformación máxima de  $1,4771\text{E-}2$  m que es igual a una flecha de  $f=1,47$  cm, al igual que lo obtenido en el análisis analítico una flecha de  $f=1,46$  cm, esta es una deflexión aceptable de la viga.

**Figura 22** Esfuerzos equivalentes (von-Mises), programa Ansys.



De acuerdo al análisis arrojado por Ansys, el máximo esfuerzo a lo largo de toda la viga es de 1,35 MPa, si para este caso usamos una chapa, para armar la viga, con un esfuerzo de fluencia 248 MPa (36Ksi), su esfuerzo de trabajo es factorizado 0,6 veces, así, el esfuerzo seria de 148,8 MPa, este esfuerzo del material cumple con una excelente confiabilidad y resistencia.

**Figura 23** Factor de seguridad, programa Ansys.



Podemos observar en el análisis obtenido con Ansys, que el mínimo factor de seguridad es de 0,0022379, para este tipo de vigas se deben de rigidizar los extremos, en cuanto al centro de la viga, donde la deflexión es máxima, tenemos un factor de seguridad entre 5 y 15. Este elevado valor se debe a la alta inercia que se requiere para cumplir con la flecha generada por las cargas.

## 7. CONCLUSIONES

Analizando las necesidades de la empresa se planteó un procedimiento para modelar y pre dimensionar las solicitaciones o cargas a las que estará sometida la viga principal de un puente grúa, obteniendo los momentos máximos que rigen cada carga, para los cuales, la viga deberá cumplir y no fallar por rigidez y resistencia.

Se evaluó que el primer parámetro a definir es la flecha máxima que se puede permitir, pues es la deformación máxima de la viga en toda la luz, como la deflexión define el diseño de la viga decimos que el parámetro que rige el cálculo es por la flecha admisible.

Adicional a las cargas a las cuales se someterá la viga se deben definir los estándares y dimensiones de la distancia entre ruedas del carro del puente, pues una variación de esta medida aumentará o disminuirá el momento producido en el centro de la viga, requiriendo una mayor o menor inercia, bien sea el caso.

Al momento de seleccionar el perfil óptimo para cumplir la flecha mínima, se tuvo en cuenta el peso por metro del perfil, así se tomará una decisión de manera eficiente y eficaz, pues, el peso lineal repercute en las cargas que se le impondrán al edificio sobre el cual estará en movimiento el puente grúa.

Bajo el análisis de elementos finitos que se realizó con el programa Ansys, se pudo constatar que los parámetros establecidos son óptimos y que las funciones o ecuaciones propuestas cumplen con los valores, así, la altura mínima seleccionada cumple con la resistencia y deflexión o flecha.

## **8. RECOMENDACIONES**

Se recomienda contar con las dimensiones del carro del puente, para proporcionar las cargas correctas impuestas sobre la viga, de lo contrario, el cambio de esta dimensión requiere chequear de nuevo los momentos producidos y el perfil seleccionado.

Para este tipo de vigas se recomienda usar un acero estructural, o de alto esfuerzo de fluencia, para así, no estar en el límite de falla de la región elástica.

La información de las tablas de selección fue preparada para brindar apoyo técnico al departamento comercial e ingeniería, para pre dimensionar la viga principal. Al momento de definir el puente grúa, pesos de equipos sobre la viga, se deberá chequear las cargas y momentos para validar un cambio en el perfil, bien sea, para optimizarlo. Esto se deberá hacer bajo la supervisión de un profesional competente con conocimiento de diseño de estructuras metálicas.

## BIBLIOGRAFÍA

- AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION, Inc. Manual of Steel Construction: Allowable Stress Design. 9na ed. Chicago: Illinois, 1921.
- BEER, Ferdinand P. JOHNSTON, E. Russell. Mecánica de Materiales. 2nd ed. Madrid: McGraw-Hill, 1982.
- Construcciones Metálicas y de Madera [en línea]: Memorias de Calculo. España: Pablo A. Martínez [consultado 02 de Mayo de 2012]. Disponible en Internet: <http://es.scribd.com/doc/7667053/Puente-grua>
- CRANE HANDBOOK. Design Data and Engineering Information used in the manufacture and application of Crane. 3th ed. Whiting Corporation, Harvey: Illinois, 1967.
- EUGENE F. Megyesy. Manual de Recipientes a Presión, Diseño y Calculo. Editorial Limusa, S.A. de CV, México, D.F, 1989.
- FEDESTRUCTURAS – Valle. Guía de diseño: para perfiles estructurales de acero y sus conexiones en edificios.
- Francisco J. Fraile Griborio. Diseño Cálculo y Comprobación de Unión Soldada en Viga de Puente Grúa de Alma Doble. Madrid: 2010 [consultado 14 de Junio de 2012] Disponible en internet: [http://oa.upm.es/3756/1/TESIS\\_MASTER\\_FRANCISCO\\_J\\_FRAILE\\_GRIBORIO.pdf](http://oa.upm.es/3756/1/TESIS_MASTER_FRANCISCO_J_FRAILE_GRIBORIO.pdf)
- FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Grundlagen und Bauteile. Brunswick: Vieweg&Sohn, 1965.
- FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Winden und Krane (Band II). Brunswick: Vieweg&Sohn, 1961.
- FRIEDR, Vieweg. SOHN, Brunswick. DIE HEBEZEUGE, Sonderausführungen (Band III). Brunswick: Vieweg&Sohn, 1964.
- HIBBELER, Russell Charles. Mecánica Vectorial para Ingenieros: Dinámica. 10th ed. México: Pearson Educación, 2004.
- HIBBELER, Russell C. Análisis Estructural. 3rd ed. México: Prentice-Hall Hispanoamericana S.A., 1997.



- IMK. S.A.S. Diseño, Fabricación y Montaje de Estructuras Metálicas. Santiago de Cali: IMK [Consultado el 03 de Mayo de 2012] Disponible en internet: <http://imksas.com/sager.html>
- JACK, C. McCormac. NELSON, James K. Diseño de Estructuras de Acero: Método LRFD. 2nd ed. México: Alfa Omega, 2002.
- JOSEPH, E. Shigley. CHARLES, R. Mischke. Diseño en Ingeniería Mecánica. 6th ed. Madrid: McGraw-Hill. 2002.
- MARIA, Graciela Fratelli. Diseño de Estructuras Metálicas: Estado Límites LRFD. Buenos Aires: ISBN 984-43-5569-7. 2003.
- Memoria Descriptiva [en línea]. Ingytec [consultado 14 de Junio de 2012] Disponible en internet: <http://www.ingytec.com/ACROBAT/GH/Puente%20Grúa%20GH%20-%20Memoria%20descriptiva.pdf>
- RUIZ PEREA, Armando. LLANOS RUIZ, Héctor. Diseño de transportado puente-grúa y elevador vertical para los talleres de metalmecánica del ITI San Juan Bosco de Cali. Trabajo de grado Ingeniero Mecánico. Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente. Facultad de Ingeniería, 1998. 185 p.
- Sistemas de Grúas, S.L [en línea]. España: ABUS [consultado 02 de Mayo de 2012]. Disponible en internet: <http://www.abusgruas.es/>

## ANEXOS

### ANEXO A. Nicolás del castillo S.A. propiedades de perfiles laminados



#### PERFIL H EUROPEO DE ALA ANCHA - HE

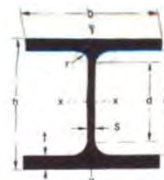
##### PERFILES HE

##### Dimensiones y propiedades para el diseño

DESIGNACION	DIMENSIONES								AREA	PESO	PROPIEDADES ELASTICAS						MODULO PLASTICO		CONS TORS
	ALTURA		ALA		DISTANCIAS						EJE X-X			EJE Y-Y			Zx	Zy	
	h	s	b	t	r	c	d	ix			Sx	rx	iy	Sy	ry	cm3	cm3		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm2	kg/mt	cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm			cm4	
HEA 100	91.00	4.20	100.00	5.50	12.00	80.00	56.00	15.60	12.20	237.00	52.00	3.89	92.10	18.40	2.43	58.40	28.40	2.51	
HEA 100	96.00	5.00	100.00	8.00	12.00	80.00	56.00	21.20	16.70	349.00	72.80	4.06	134.00	26.80	2.51	83.00	41.10	5.24	
DIL 100	100.00	5.00	100.00	10.00	12.00	80.00	56.00	25.20	19.80	445.00	89.10	4.20	167.00	33.40	2.57	103.00	51.10	8.40	
HEB 100	100.00	6.00	100.00	10.00	12.00	80.00	56.00	26.00	20.40	450.00	89.90	4.16	167.00	33.50	2.53	104.00	51.40	9.25	
HEM 100	120.00	12.00	106.00	20.00	12.00	80.00	56.00	53.20	41.80	1,143.00	190.00	4.63	399.00	75.30	2.74	236.00	116.00	68.20	
HEA 120	109.00	4.20	120.00	5.50	12.00	98.00	74.00	18.60	14.60	413.00	75.80	4.72	159.00	26.50	2.93	84.10	40.60	2.78	
HEA 120	114.00	5.00	120.00	8.00	12.00	98.00	74.00	25.30	19.90	606.00	106.00	4.89	231.00	38.50	3.02	119.00	58.90	5.99	
DIL 120	120.00	5.00	120.00	11.00	12.00	98.00	74.00	32.50	25.50	853.00	142.00	5.12	317.00	52.90	3.12	162.00	80.50	12.40	
HEB 120	120.00	6.50	120.00	11.00	12.00	98.00	74.00	34.00	26.70	864.00	144.00	5.04	318.00	52.90	3.06	165.00	81.00	13.80	
HEM 120	140.00	12.50	126.00	21.00	12.00	98.00	74.00	66.40	52.10	2,016.00	288.00	5.51	703.00	112.00	3.25	351.00	172.00	91.70	
HEA 140	128.00	4.30	140.00	6.00	12.00	116.00	92.00	23.00	18.10	719.00	112.00	5.59	275.00	39.30	3.45	124.00	59.90	3.54	
HEA 140	133.00	5.50	140.00	8.50	12.00	116.00	92.00	31.40	24.70	* 1,033.00	155.00	5.73	389.00	55.60	3.52	173.00	84.80	8.13	
DIL 140	140.00	5.00	140.00	12.00	12.00	116.00	92.00	40.60	31.90	1,483.00	212.00	6.04	549.00	78.50	3.68	239.00	119.00	17.80	
HEB 140	140.00	7.00	140.00	12.00	12.00	116.00	92.00	43.00	33.70	1,509.00	216.00	5.93	550.00	78.50	3.58	245.00	120.00	20.10	
HEM 140	160.00	13.00	146.00	22.00	12.00	116.00	92.00	80.80	63.20	3,291.00	411.00	6.39	1,144.00	157.00	3.77	494.00	241.00	120.00	
HEA 160	148.00	4.50	160.00	7.00	15.00	134.00	104.00	30.40	23.80	1,283.00	173.00	6.50	479.00	59.80	3.97	190.00	91.40	6.33	
HEA 160	152.00	6.00	160.00	9.00	15.00	134.00	104.00	38.80	30.40	1,673.00	220.00	6.57	616.00	76.90	3.98	245.00	118.00	12.20	
DIL 160	160.00	5.00	160.00	13.00	15.00	134.00	104.00	50.20	39.40	2,432.00	304.00	6.96	886.00	111.00	4.21	340.00	168.00	26.10	
HEB 160	160.00	8.00	160.00	13.00	15.00	134.00	104.00	54.30	42.60	2,492.00	311.00	6.78	889.00	111.00	4.05	354.00	170.00	31.20	
HEM 160	180.00	14.00	166.00	23.00	15.00	134.00	104.00	97.10	76.20	5,098.00	566.00	7.25	1,759.00	212.00	4.26	675.00	325.00	162.00	
HEA 180	167.00	5.00	180.00	7.50	15.00	152.00	122.00	36.50	28.70	1,967.00	236.00	7.34	730.00	81.10	4.47	258.00	124.00	8.33	
HEA 180	171.00	6.00	180.00	9.50	15.00	152.00	122.00	45.30	35.50	2,510.00	294.00	7.45	925.00	103.00	4.52	325.00	156.00	14.80	
DIL 180	180.00	5.50	180.00	14.00	15.00	152.00	122.00	60.70	47.80	3,743.00	416.00	7.85	1,362.00	151.00	4.74	464.00	229.00	36.10	
HEB 180	180.00	8.50	180.00	14.00	15.00	152.00	122.00	65.30	51.20	3,831.00	426.00	7.66	1,363.00	151.00	4.57	481.00	231.00	42.20	
HEM 180	200.00	14.50	186.00	24.00	15.00	152.00	122.00	113.00	88.90	7,483.00	748.00	8.13	2,580.00	277.00	4.77	883.00	425.00	203.00	
HEA 200	186.00	5.50	200.00	8.00	18.00	170.00	134.00	44.10	34.60	2,944.00	317.00	8.17	1,068.00	107.00	4.82	347.00	163.00	12.70	
HEA 200	190.00	6.50	200.00	10.00	18.00	170.00	134.00	53.80	42.30	3,692.00	389.00	8.28	1,336.00	134.00	4.98	429.00	204.00	21.00	
DIL 200	200.00	6.00	200.00	15.00	18.00	170.00	134.00	73.00	57.30	5,573.00	557.00	8.74	2,002.00	200.00	5.24	621.00	303.00	50.70	
HEB 200	200.00	9.00	200.00	15.00	18.00	170.00	134.00	78.10	61.30	5,896.00	570.00	8.54	2,003.00	200.00	5.07	643.00	306.00	59.30	
HEM 200	220.00	15.00	206.00	25.00	18.00	170.00	134.00	131.00	103.00	10,840.00	967.00	9.00	3,651.00	354.00	5.27	1,135.00	543.00	259.00	
HEA 220	205.00	6.00	220.00	8.50	18.00	188.00	152.00	51.50	40.40	4,170.00	407.00	9.00	1,510.00	137.00	5.42	445.00	209.00	15.90	
HEA 220	210.00	7.00	220.00	11.00	18.00	188.00	152.00	64.30	50.50	5,410.00	515.00	9.17	1,955.00	178.00	5.51	568.00	271.00	28.50	
DIL 220	220.00	6.50	220.00	16.00	18.00	188.00	152.00	85.40	67.00	7,925.00	720.00	9.63	2,842.00	258.00	5.77	801.00	391.00	66.80	
HEB 220	220.00	9.50	220.00	16.00	18.00	188.00	152.00	91.00	71.50	8,091.00	736.00	9.43	2,843.00	258.00	5.59	827.00	394.00	76.60	
HEM 220	240.00	15.50	226.00	26.00	18.00	188.00	152.00	149.00	117.00	14,800.00	1,217.00	9.89	5,012.00	444.00	5.79	1,419.00	679.00	315.00	
HEA 240	224.00	6.50	240.00	9.00	21.00	206.00	164.00	60.40	47.40	5,835.00	521.00	9.83	2,077.00	173.00	5.87	571.00	264.00	23.00	
HEA 240	230.00	7.50	240.00	12.00	21.00	206.00	164.00	76.80	60.30	7,763.00	675.00	10.10	2,769.00	231.00	6.00	745.00	352.00	41.60	
DIL 240	240.00	7.00	240.00	17.00	21.00	206.00	164.00	99.80	78.30	11,040.00	920.00	10.50	3,821.00	327.00	6.27	1,021.00	495.00	89.50	
HEB 240	240.00	10.00	240.00	17.00	21.00	206.00	164.00	106.00	83.20	11,260.00	938.00	10.30	3,823.00	327.00	6.08	1,053.00	498.00	103.00	
HEM 240	270.00	18.00	248.00	32.00	21.00	206.00	164.00	200.00	157.00	24,290.00	1,799.00	11.00	8,153.00	657.00	6.39	2,117.00	1,006.00	628.00	



## PERFIL H EUROPEO DE ALA ANCHA - HE



### PERFILES HE

### Dimensiones y propiedades para el diseño

DESIGNACION	DIMENSIONES							AREA	PESO	PROPIEDADES ELASTICAS						MODULO PLASTICO		CONS TORS	
	ALTURA		ALA		DISTANCIAS					EJE X-X			EJE Y-Y			Zx	Zy		
	h	s	b	t	r	c	d			lx	Sx	rx	ly	Sy	ry				
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			cm <sup>2</sup>	kg/mt	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm		cm <sup>3</sup>
HEA A 260	244.00	6.50	260.00	9.50	24.00	225.00	177.00	69.00	54.10	7.981.00	854.00	10.80	2.788.00	214.00	6.36	714.00	328.00	30.30	
HEA 260	250.00	7.50	260.00	12.50	24.00	225.00	177.00	86.80	68.20	10.450.00	836.00	11.00	3.668.00	282.00	6.50	920.00	430.00	52.40	
DIL 260	260.00	7.50	260.00	17.50	24.00	225.00	177.00	113.00	88.60	14.680.00	1.129.00	11.40	5.132.00	395.00	6.74	1.251.00	599.00	110.00	
HEB 260	260.00	10.00	260.00	17.50	24.00	225.00	177.00	118.00	93.00	14.920.00	1.148.00	11.20	5.135.00	395.00	6.58	1.283.00	602.00	124.00	
HEM 260	290.00	18.00	268.00	32.50	24.00	225.00	177.00	220.00	172.00	31.310.00	2.159.00	11.90	10.450.00	780.00	6.90	2.524.00	1.192.00	719.00	
HEA A 280	264.00	7.00	280.00	10.00	24.00	244.00	196.00	76.00	61.20	10.560.00	800.00	11.60	3.664.00	262.00	6.85	873.00	399.00	36.20	
HEA 280	270.00	8.00	280.00	13.00	24.00	244.00	196.00	97.30	76.40	13.670.00	1.013.00	11.90	4.763.00	340.00	7.00	1.112.00	518.00	62.10	
DIL 280	280.00	8.00	280.00	18.00	24.00	244.00	196.00	125.00	98.30	16.970.00	1.355.00	12.30	6.592.00	471.00	7.25	1.497.00	714.00	128.00	
HEB 280	280.00	10.50	280.00	18.00	24.00	244.00	196.00	131.00	103.00	19.270.00	1.376.00	12.10	6.595.00	471.00	7.09	1.534.00	718.00	144.00	
HEM 280	310.00	18.50	288.00	33.00	24.00	244.00	196.00	240.00	189.00	39.550.00	2.551.00	12.80	13.160.00	914.00	7.40	2.966.00	1.397.00	607.00	
HEA A 300	283.00	7.50	300.00	10.50	27.00	262.00	208.00	88.90	69.80	13.800.00	976.00	12.50	4.734.00	316.00	7.30	1.065.00	482.00	49.30	
HEA 300	290.00	8.50	300.00	14.00	27.00	262.00	208.00	113.00	88.30	16.260.00	1.260.00	12.70	6.310.00	421.00	7.49	1.383.00	641.00	85.20	
DIL 300	300.00	8.50	300.00	19.00	27.00	262.00	208.00	143.00	112.00	24.790.00	1.653.00	13.20	8.560.00	571.00	7.75	1.826.00	866.00	165.00	
HEB 300	300.00	11.00	300.00	19.00	27.00	262.00	208.00	149.00	117.00	25.170.00	1.678.00	13.00	8.563.00	571.00	7.58	1.869.00	870.00	185.00	
HEC 300	320.00	16.00	305.00	29.00	27.00	262.00	208.00	225.00	177.00	40.950.00	2.559.00	13.50	13.740.00	901.00	7.81	2.927.00	1.374.00	598.00	
HEM 300	340.00	21.00	310.00	39.00	27.00	262.00	208.00	303.00	238.00	59.200.00	3.482.00	14.00	19.400.00	1252.00	8.00	4.078.00	1.913.00	1.408.00	
HEA A 320	301.00	8.00	300.00	11.00	27.00	279.00	225.00	94.60	74.20	16.450.00	1.093.00	13.20	4.959.00	331.00	7.24	1.196.00	506.00	55.90	
HEA 320	310.00	9.00	300.00	15.50	27.00	279.00	225.00	124.00	97.60	22.930.00	1.479.00	13.60	6.985.00	466.00	7.49	1.628.00	710.00	108.00	
DIL 320	320.00	9.00	300.00	20.50	27.00	279.00	225.00	154.00	121.00	30.370.00	1.896.00	14.00	9.235.00	616.00	7.73	2.101.00	935.00	203.00	
HEB 320	320.00	11.50	300.00	20.50	27.00	279.00	225.00	161.00	127.00	30.820.00	1.926.00	13.80	9.239.00	616.00	7.57	2.149.00	939.00	225.00	
HEM 320	359.00	21.00	309.00	40.00	27.00	279.00	225.00	312.00	245.00	66.130.00	3.796.00	14.80	19.710.00	1.276.00	7.95	4.435.00	1.951.00	1.501.00	
HEA A 340	320.00	8.50	300.00	11.50	27.00	297.00	243.00	101.00	78.90	19.550.00	1.222.00	13.90	5.185.00	346.00	7.18	1.341.00	529.00	63.10	
HEA 340	330.00	9.50	300.00	16.50	27.00	297.00	243.00	133.00	105.00	27.690.00	1.678.00	14.40	7.436.00	496.00	7.46	1.850.00	756.00	127.00	
DIL 340	340.00	9.50	300.00	21.50	27.00	297.00	243.00	163.00	128.00	36.110.00	2.124.00	14.90	9.686.00	646.00	7.70	2.353.00	981.00	234.00	
HEB 340	340.00	12.00	300.00	21.50	27.00	297.00	243.00	171.00	134.00	36.660.00	2.156.00	14.60	9.690.00	646.00	7.53	2.408.00	986.00	257.00	
HEM 340	377.00	21.00	309.00	40.00	27.00	297.00	243.00	316.00	248.00	76.340.00	4.052.00	15.60	19.710.00	1.276.00	7.90	4.718.00	1.953.00	1.506.00	
HEA A 360	339.00	9.00	300.00	12.00	27.00	315.00	261.00	107.00	83.70	23.040.00	1.359.00	14.70	5.410.00	361.00	7.12	1.495.00	553.00	71.00	
HEA 360	350.00	10.00	300.00	17.50	27.00	315.00	261.00	143.00	112.00	33.090.00	1.891.00	15.20	7.887.00	526.00	7.43	2.088.00	802.00	149.00	
DIL 360	360.00	10.00	300.00	22.50	27.00	315.00	261.00	173.00	136.00	42.540.00	2.363.00	15.70	10.140.00	676.00	7.66	2.621.00	1.027.00	267.00	
HEB 360	360.00	12.50	300.00	22.50	27.00	315.00	261.00	181.00	142.00	43.190.00	2.400.00	15.50	10.140.00	676.00	7.49	2.683.00	1.032.00	292.00	
HEM 360	395.00	21.00	308.00	40.00	27.00	315.00	261.00	319.00	250.00	84.870.00	4.297.00	16.30	19.520.00	1.268.00	7.83	4.989.00	1.942.00	1.507.00	
HEA A 400	378.00	9.50	300.00	13.00	27.00	352.00	298.00	118.00	92.40	31.250.00	1.654.00	16.30	5.861.00	391.00	7.06	1.824.00	600.00	84.70	
HEA 400	390.00	11.00	300.00	19.00	27.00	352.00	298.00	159.00	125.00	45.070.00	2.311.00	16.80	8.564.00	571.00	7.34	2.562.00	873.00	189.00	
DIL 400	400.00	11.00	300.00	24.00	27.00	352.00	298.00	189.00	148.00	56.770.00	2.839.00	17.30	10.810.00	721.00	7.56	3.154.00	1.098.00	325.00	
HEB 400	400.00	13.50	300.00	24.00	27.00	352.00	298.00	198.00	155.00	57.680.00	2.884.00	17.10	10.820.00	721.00	7.40	3.232.00	1.104.00	356.00	
HEM 400	432.00	21.00	307.00	40.00	27.00	352.00	298.00	326.00	256.00	104.100.00	4.820.00	17.90	19.340.00	1.260.00	7.70	5.571.00	1.934.00	1.515.00	
HEA A 450	425.00	10.00	300.00	13.50	27.00	398.00	344.00	127.00	99.70	41.890.00	1.971.00	18.20	6.088.00	406.00	6.92	2.183.00	624.00	95.60	
HEA 450	440.00	11.50	300.00	21.00	27.00	398.00	344.00	178.00	140.00	63.720.00	2.896.00	18.90	9.465.00	631.00	7.29	3.216.00	966.00	244.00	
DIL 450	450.00	11.50	300.00	26.00	27.00	398.00	344.00	208.00	163.00	78.570.00	3.492.00	19.40	11.720.00	781.00	7.50	3.883.00	1.191.00	406.00	
HEB 450	450.00	14.00	300.00	26.00	27.00	398.00	344.00	218.00	171.00	79.890.00	3.551.00	19.10	11.720.00	781.00	7.33	3.982.00	1.198.00	440.00	
HEM 450	478.00	21.00	307.00	40.00	27.00	398.00	344.00	335.00	263.00	131.500.00	5.501.00	19.80	19.340.00	1.260.00	7.59	6.331.00	1.939.00	1.529.00	





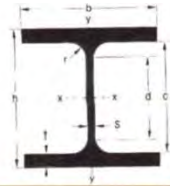
## PERFIL H EUROPEO DE ALA ANCHA - HE



### PERFILES HE

### Dimensiones y propiedades para el diseño

DESIGNACION	DIMENSIONES								AREA	PESO	PROPIEDADES ELASTICAS								MODULO PLASTICO		CONS TORS
	ALTURA		ALA		DISTANCIAS						EJE X-X				EJE Y-Y						
	h	s	b	t	r	c	d	lx			Sx	rx	ly	Sy	ry	Zx	Zy	Jt			
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/ mt	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	cm <sup>4</sup>		
HEA 500	472.00	10.50	300.00	14.00	27.00	444.00	390.00	137.00	107.00	54,640.00	2,315.00	20.00	6,314.00	421.00	6.79	2,576.00	849.00	108.00			
HEA 500	480.00	12.00	300.00	23.00	27.00	444.00	390.00	198.00	155.00	86,970.00	3,550.00	21.00	10,370.00	691.00	7.24	3,949.00	1,059.00	308.00			
DIL 500	500.00	12.00	300.00	28.00	27.00	444.00	390.00	228.00	178.00	105,400.00	4,214.00	21.50	12,620.00	841.00	7.45	4,691.00	1,284.00	499.00			
HEB 500	500.00	14.50	300.00	28.00	27.00	444.00	390.00	239.00	187.00	107,200.00	4,267.00	21.20	12,620.00	842.00	7.27	4,815.00	1,292.00	538.00			
HEM 500	524.00	21.00	306.00	40.00	27.00	444.00	390.00	344.00	270.00	161,900.00	6,180.00	21.70	19,150.00	1,252.00	7.46	7,094.00	1,932.00	1,539.00			
HEA 550	522.00	11.50	300.00	15.00	27.00	492.00	438.00	153.00	120.00	72,870.00	2,792.00	21.80	6,767.00	451.00	6.65	3,128.00	899.00	134.00			
HEA 550	540.00	12.50	300.00	24.00	27.00	492.00	438.00	212.00	166.00	111,900.00	4,146.00	23.00	10,820.00	721.00	7.15	4,622.00	1,107.00	352.00			
DIL 550	550.00	12.50	300.00	29.00	27.00	492.00	438.00	242.00	190.00	134,200.00	4,860.00	23.60	13,070.00	871.00	7.35	5,439.00	1,332.00	556.00			
HEB 550	550.00	15.00	300.00	29.00	27.00	492.00	438.00	254.00	199.00	136,700.00	4,971.00	23.20	13,080.00	872.00	7.17	5,591.00	1,341.00	600.00			
HEM 550	572.00	21.00	306.00	40.00	27.00	492.00	438.00	354.00	278.00	196,000.00	6,923.00	23.60	19,160.00	1,252.00	7.35	7,933.00	1,937.00	1,554.00			
HEA 600	571.00	12.00	300.00	15.50	27.00	540.00	486.00	164.00	129.00	91,870.00	3,218.00	23.70	6,993.00	468.00	6.53	3,623.00	724.00	150.00			
HEA 600	590.00	13.00	300.00	25.00	27.00	540.00	486.00	226.00	178.00	141,200.00	4,787.00	25.00	11,270.00	751.00	7.05	5,350.00	1,156.00	398.00			
DIL 600	600.00	13.00	300.00	30.00	27.00	540.00	486.00	256.00	201.00	167,800.00	5,592.00	25.60	13,520.00	901.00	7.26	6,243.00	1,361.00	616.00			
HEB 600	600.00	15.50	300.00	30.00	27.00	540.00	486.00	270.00	212.00	171,000.00	5,701.00	25.20	13,530.00	902.00	7.08	6,425.00	1,391.00	667.00			
HEM 600	620.00	21.00	305.00	40.00	27.00	540.00	486.00	364.00	285.00	237,400.00	7,660.00	25.60	16,980.00	1,244.00	7.22	8,772.00	1,930.00	1,564.00			
HEA 650	620.00	12.50	300.00	16.00	27.00	588.00	534.00	176.00	138.00	113,900.00	3,676.00	25.50	7,221.00	481.00	6.41	4,160.00	751.00	168.00			
HEA 650	640.00	13.50	300.00	26.00	27.00	588.00	534.00	242.00	190.00	175,200.00	5,474.00	26.90	11,720.00	782.00	6.97	6,136.00	1,205.00	448.00			
HEB 650	650.00	16.00	300.00	31.00	27.00	588.00	534.00	286.00	225.00	210,600.00	6,480.00	27.10	13,980.00	932.00	6.99	7,320.00	1,441.00	739.00			
HEM 650	688.00	21.00	305.00	40.00	27.00	588.00	534.00	374.00	293.00	281,700.00	8,433.00	27.50	16,980.00	1,245.00	7.13	9,857.00	1,936.00	1,579.00			
HEA 700	670.00	13.00	300.00	17.00	27.00	636.00	582.00	191.00	150.00	142,700.00	4,260.00	27.30	7,673.00	512.00	6.34	4,840.00	800.00	195.00			
HEA 700	690.00	14.50	300.00	27.00	27.00	636.00	582.00	260.00	204.00	215,300.00	6,241.00	28.80	12,180.00	612.00	6.84	7,032.00	1,257.00	514.00			
HEB 700	700.00	17.00	300.00	32.00	27.00	636.00	582.00	306.00	241.00	256,900.00	7,340.00	29.00	14,440.00	983.00	6.87	8,327.00	1,495.00	831.00			
HEM 700	716.00	21.00	304.00	40.00	27.00	636.00	582.00	383.00	301.00	329,300.00	9,198.00	29.30	18,800.00	1,237.00	7.01	10,540.00	1,929.00	1,589.00			
HEA 800	770.00	14.00	300.00	18.00	30.00	734.00	674.00	218.00	172.00	208,900.00	5,426.00	30.90	8,134.00	542.00	6.10	6,225.00	857.00	257.00			
HEA 800	790.00	15.00	300.00	28.00	30.00	734.00	674.00	286.00	224.00	303,400.00	7,682.00	32.60	12,640.00	843.00	6.65	8,699.00	1,312.00	597.00			
HEB 800	800.00	17.50	300.00	33.00	30.00	734.00	674.00	334.00	262.00	359,100.00	8,977.00	32.80	14,900.00	994.00	6.68	10,230.00	1,553.00	946.00			
HEM 800	814.00	21.00	303.00	40.00	30.00	734.00	674.00	404.00	317.00	442,800.00	10,870.00	33.10	16,630.00	1,230.00	6.79	12,490.00	1,930.00	1,646.00			
HEA 900	870.00	15.00	300.00	20.00	30.00	830.00	770.00	252.00	198.00	301,100.00	6,923.00	34.60	9,041.00	603.00	5.99	7,999.00	958.00	335.00			
HEA 900	890.00	16.00	300.00	30.00	30.00	830.00	770.00	321.00	252.00	422,100.00	9,485.00	36.30	13,550.00	903.00	6.50	10,810.00	1,414.00	737.00			
HEB 900	900.00	18.50	300.00	35.00	30.00	830.00	770.00	371.00	291.00	494,100.00	10,980.00	36.50	15,820.00	1,054.00	6.53	12,580.00	1,658.00	1,137.00			
HEM 900	910.00	21.00	302.00	40.00	30.00	830.00	770.00	424.00	333.00	570,400.00	12,540.00	36.70	16,450.00	1,222.00	6.60	14,440.00	1,929.00	1,671.00			
HEA 1000	970.00	16.00	300.00	21.00	30.00	928.00	868.00	282.00	222.00	406,500.00	8,360.00	38.00	9,501.00	633.00	5.80	9,777.00	1,016.00	403.00			
HEA 1000	990.00	16.50	300.00	31.00	30.00	928.00	868.00	347.00	272.00	553,800.00	11,190.00	40.00	14,000.00	934.00	6.35	12,820.00	1,470.00	822.00			
HEB 1000	1,000.00	19.00	300.00	36.00	30.00	928.00	868.00	400.00	314.00	644,700.00	12,890.00	40.10	16,280.00	1,085.00	6.38	14,860.00	1,716.00	1,254.00			
HEM 1000	1,008.00	21.00	302.00	40.00	30.00	928.00	868.00	444.00	349.00	722,300.00	14,330.00	40.30	16,460.00	1,222.00	6.45	16,570.00	1,940.00	1,701.00			
HEA 1100	1,090.00	18.00	300.00	31.00	20.00	1,028.00	988.00	374.00	294.00	693,500.00	12,720.00	43.00	14,010.00	934.00	6.12	14,780.00	1,483.00	839.00			
HEB 1100	1,100.00	20.00	300.00	36.00	20.00	1,028.00	988.00	425.00	334.00	801,500.00	14,570.00	43.40	16,280.00	1,085.00	6.19	16,950.00	1,728.00	1,253.00			
HEM 1100	1,108.00	22.00	302.00	40.00	20.00	1,028.00	988.00	471.00	370.00	897,300.00	16,200.00	43.60	16,480.00	1,223.00	6.26	18,890.00	1,954.00	1,703.00			
HER 1100	1,118.00	26.00	305.00	45.00	20.00	1,028.00	988.00	545.00	428.00	1,034,900.00	18,510.00	43.60	21,440.00	1,406.00	6.27	21,770.00	2,273.00	2,527.00			



## PERFILES H AMERICANO DE ALA ANCHA - WF

### PERFILES WF

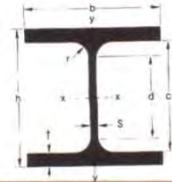
### Dimensiones y propiedades para el diseño

DESIGNACION	DIMENSIONES								AREA	PESO	PROPIEDADES ELASTICAS								MODULO PLASTICO		CONS TORS	
	ALTURA		ALA		DISTANCIAS						EJE X-X				EJE Y-Y				Zx	Zy		
	h	s	b	t	r	c	d	Ix			Sx	rx	Iy	Sy	ry							
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm4			cm3	cm	cm4	cm3	cm	cm3	cm3	cm3				
WF 4 x 13	102.00	6.50	100.00	9.40	6.00	83.20	71.20	24.50	19.35	441.00	86.40	4.24	157.00	31.40	2.53	99.50	48.00	6.90				
WF 4 x 13.8	102.00	8.00	102.00	9.40	6.00	83.20	71.20	26.10	20.54	456.00	89.40	4.18	167.00	32.70	2.53	104.00	50.40	8.13				
WF 4 x 16.3	107.00	7.90	100.00	12.00	6.00	83.00	71.00	30.90	24.26	587.00	110.00	4.36	200.00	40.10	2.55	129.00	61.50	13.70				
WF 5 x 16	127.00	6.10	127.00	9.10	6.00	108.80	92.80	30.30	23.81	886.00	139.00	5.41	311.00	48.00	3.20	157.00	74.70	8.10				
WF 5 x 19	131.00	6.90	128.00	10.90	8.00	109.00	93.20	36.00	28.28	1,099.00	168.00	5.53	381.00	59.60	3.26	191.00	90.90	13.40				
WF 6 x 15	152.00	5.80	152.00	6.80	6.00	138.80	126.80	28.40	22.32	1,205.00	159.00	6.51	387.00	50.90	3.69	176.00	77.50	4.31				
WF 6 x 20	157.00	6.60	153.00	9.30	6.00	138.40	126.40	37.90	29.76	1,714.00	218.00	6.73	556.00	72.80	3.83	244.00	111.00	10.20				
WF 6 x 25	162.00	8.10	154.00	11.60	6.00	138.60	126.60	47.30	37.20	2,219.00	274.00	6.85	707.00	91.80	3.87	310.00	140.00	19.50				
WF 8 x 16	207.00	5.80	133.00	8.40	8.00	190.20	174.20	33.90	26.79	2,585.00	250.00	8.73	330.00	49.60	3.12	279.00	76.20	7.31				
WF 8 x 21	210.00	6.40	134.00	10.20	8.00	189.60	173.60	40.00	31.25	3,124.00	299.00	8.86	410.00	61.10	3.20	336.00	93.80	12.10				
WF 8 x 24	201.00	6.20	165.00	10.20	10.00	180.60	160.60	45.70	35.72	3,437.00	342.00	8.67	764.00	92.80	4.09	379.00	141.00	14.50				
WF 8 x 28	205.00	7.20	166.00	11.80	10.00	181.40	161.40	53.10	41.67	4,086.00	399.00	8.77	900.00	108.00	4.12	445.00	165.00	22.30				
WF 8 x 31	203.00	7.20	203.00	11.00	10.00	181.00	161.00	58.60	46.13	4,543.00	448.00	8.81	1,535.00	151.00	5.12	495.00	229.00	22.20				
WF 8 x 35	206.00	7.90	204.00	12.60	10.00	180.80	160.80	66.50	52.09	5,270.00	512.00	8.90	1,784.00	175.00	5.18	569.00	266.00	32.50				
WF 8 x 40	210.00	9.10	205.00	14.20	10.00	181.60	161.60	75.60	59.53	6,111.00	582.00	8.99	2,040.00	199.00	5.20	653.00	303.00	46.80				
WF 8 x 48	216.00	10.20	206.00	17.40	10.00	181.20	161.20	91.00	71.43	7,860.00	709.00	9.17	2,537.00	246.00	5.28	803.00	375.00	82.10				
WF 8 x 58	222.00	13.00	209.00	20.60	10.00	180.80	160.80	110.00	86.31	9,489.00	853.00	9.26	3,138.00	300.00	5.33	981.00	458.00	141.00				
WF 8 x 67	229.00	14.50	210.00	23.70	10.00	181.60	161.60	127.00	99.71	11,330.00	989.00	9.45	3,664.00	349.00	5.38	1,149.00	533.00	211.00				
WF 10 x 22	258.00	6.10	146.00	9.10	8.00	239.80	223.80	41.70	32.74	4,895.00	379.00	10.80	473.00	64.70	3.36	425.00	99.50	10.00				
WF 10 x 26	262.00	6.60	147.00	11.20	8.00	239.60	223.60	49.30	36.69	5,014.00	459.00	11.00	594.00	80.80	3.47	514.00	124.00	17.00				
WF 10 x 30	266.00	7.60	148.00	13.00	8.00	240.00	224.00	57.30	44.65	7,115.00	535.00	11.10	703.00	95.10	3.50	603.00	146.00	26.40				
WF 10 x 33	247.00	7.40	202.00	11.00	13.00	225.00	199.00	62.50	49.11	7,089.00	572.00	10.80	1,513.00	150.00	4.92	634.00	228.00	24.50				
WF 10 x 39	252.00	8.00	203.00	13.50	13.00	225.00	199.00	74.30	58.04	8,736.00	693.00	10.80	1,884.00	186.00	5.04	771.00	283.00	41.10				
WF 10 x 45	257.00	8.90	204.00	15.70	13.00	225.60	199.60	85.60	66.97	10,380.00	807.00	11.00	2,224.00	218.00	5.10	902.00	332.00	62.60				
WF 10 x 49	253.00	8.80	254.00	14.20	13.00	224.60	198.60	92.90	72.92	11,280.00	892.00	11.00	3,880.00	306.00	6.48	986.00	463.00	57.80				
WF 10 x 54	256.00	9.40	255.00	15.60	13.00	224.80	198.80	102.00	80.36	12,570.00	982.00	11.10	4,314.00	338.00	6.50	1,091.00	513.00	76.20				
WF 10 x 60	260.00	10.70	256.00	17.30	13.00	225.40	199.40	114.00	89.28	14,260.00	1,097.00	11.20	4,841.00	378.00	6.51	1,227.00	575.00	105.00				
WF 10 x 68	264.00	11.90	257.00	19.60	13.00	224.80	198.80	129.00	101.20	16,380.00	1,241.00	11.30	5,549.00	432.00	6.56	1,397.00	657.00	150.00				
WF 10 x 77	269.00	13.50	259.00	22.10	13.00	224.80	198.80	146.00	114.59	18,940.00	1,409.00	11.40	6,405.00	495.00	6.82	1,600.00	753.00	216.00				
WF 10 x 88	275.00	15.40	261.00	25.10	13.00	224.80	198.80	167.00	130.96	22,160.00	1,611.00	11.50	7,446.00	571.00	6.66	1,848.00	870.00	316.00				
WF 10 x 100	282.00	17.30	263.00	28.40	13.00	225.20	199.20	190.00	148.82	25,940.00	1,840.00	11.70	8,622.00	656.00	6.74	2,129.00	1,001.00	457.00				
WF 10 x 112	289.00	19.20	265.00	31.80	13.00	225.40	199.40	213.00	166.87	30,020.00	2,078.00	11.90	9,879.00	746.00	6.81	2,427.00	1,139.00	640.00				
WF 12 x 26	310.00	5.80	166.00	9.70	8.00	290.80	274.80	49.40	38.69	8,518.00	550.00	13.10	727.00	88.10	3.84	611.00	135.00	12.70				
WF 12 x 30	313.00	6.60	166.00	11.20	8.00	290.80	274.80	56.90	44.65	9,934.00	635.00	13.20	855.00	103.00	3.88	708.00	156.00	19.30				
WF 12 x 35	317.00	7.60	167.00	13.20	8.00	290.80	274.80	66.70	52.06	11,850.00	747.00	13.30	1,026.00	123.00	3.92	838.00	189.00	31.10				
WF 12 x 53	306.00	8.80	254.00	14.60	15.00	276.80	246.80	100.00	78.87	17,670.00	1,155.00	13.30	3,990.00	314.00	6.30	1,275.00	478.00	65.50				
WF 12 x 65	308.00	9.90	305.00	15.40	15.00	277.20	247.20	123.00	96.73	22,240.00	1,444.00	13.40	7,286.00	478.00	7.89	1,591.00	725.00	91.50				
WF 12 x 72	311.00	10.90	306.00	17.00	15.00	277.00	247.00	136.00	107.15	24,790.00	1,594.00	13.50	8,123.00	531.00	7.72	1,765.00	806.00	122.00				
WF 12 x 79	314.00	11.90	307.00	18.70	15.00	276.60	246.60	150.00	117.57	27,510.00	1,753.00	13.60	9,024.00	588.00	7.76	1,949.00	893.00	161.00				
WF 12 x 87	318.00	13.10	308.00	20.60	15.00	276.80	246.80	165.00	129.47	30,770.00	1,935.00	13.70	10,040.00	652.00	7.80	2,164.00	991.00	214.00				
WF 12 x 96	323.00	14.00	309.00	22.80	15.00	277.20	247.20	182.00	142.86	34,760.00	2,153.00	13.80	11,270.00	729.00	7.86	2,419.00	1,109.00	288.00				
WF 12 x 106	327.00	15.50	310.00	25.10	15.00	276.80	246.80	200.00	157.75	38,630.00	2,363.00	13.90	12,470.00	805.00	7.89	2,872.00	1,225.00	380.00				
WF 12 x 120	333.00	18.00	313.00	28.10	15.00	276.80	246.80	228.00	178.58	44,530.00	2,675.00	14.00	14,380.00	919.00	7.95	3,053.00	1,401.00	544.00				
WF 12 x 136	341.00	20.10	315.00	31.70	15.00	277.60	247.60	257.00	202.39	51,870.00	3,042.00	14.20	16,540.00	1,050.00	8.01	3,502.00	1,603.00	777.00				
WF 12 x 152	348.00	22.10	317.00	35.60	15.00	278.80	248.80	289.00	228.20	59,560.00	3,423.00	14.40	18,930.00	1,194.00	8.10	3,975.00	1,825.00	1,089.00				





## PERFILES H AMERICANO DE ALA ANCHA - WF



### PERFILES WF

### Dimensiones y propiedades para el diseño

DESIGNACION	DIMENSIONES								AREA	PESO	PROPIEDADES ELASTICAS								MODULO PLASTICO		CONS TORS	
	ALTURA		ALA		DISTANCIAS						EJE X-X				EJE Y-Y				Zx	Zy		
	h	s	b	t	r	c	d	ix			Sx	Cx	rx	iy	Sy	Cy	ry					
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm4			cm3	cm	cm	cm4	cm3	cm	cm3	cm3	cm3	cm3		cm3
WF 12 x 170	356.00	24.40	319.00	39.60	15.00	276.80	248.80	322.00	252.99	68.230.00	3.833.00	14.80	21.460.00	1.346.00	8.16	4.490.00	2.059.00	1.495.00				
WF 12 x 190	365.00	26.90	322.00	44.10	15.00	276.80	248.80	380.00	282.75	76.680.00	4.311.00	14.80	24.590.00	1.527.00	8.26	5.099.00	2.340.00	2.062.00				
WF 12 x 210	374.00	30.00	325.00	48.30	15.00	277.40	247.40	399.00	312.52	89.560.00	4.789.00	15.00	27.700.00	1.705.00	8.33	5.716.00	2.617.00	2.742.00				
WF 12 x 230	382.00	32.60	328.00	52.60	15.00	276.80	246.80	437.00	342.28	100.500.00	5.262.00	15.20	31.020.00	1.892.00	8.42	6.334.00	2.907.00	3.552.00				
WF 12 x 252	391.00	35.40	330.00	57.20	15.00	276.80	246.80	477.00	375.02	112.800.00	5.769.00	15.40	34.370.00	2.083.00	8.49	7.004.00	3.205.00	4.570.00				
WF 12 x 279	403.00	38.90	334.00	62.70	15.00	277.60	247.60	529.00	415.20	129.900.00	6.448.00	15.70	39.080.00	2.340.00	8.60	7.902.00	3.607.00	6.065.00				
WF 12 x 305	415.00	41.30	336.00	68.70	15.00	277.60	247.60	578.00	453.89	147.900.00	7.130.00	16.00	43.610.00	2.596.00	8.68	8.816.00	4.001.00	7.868.00				
WF 12 x 336	427.00	45.10	340.00	75.10	15.00	276.80	246.80	637.00	500.02	168.800.00	7.907.00	16.30	49.420.00	2.907.00	8.81	9.875.00	4.487.00	10.330.00				
WF 14 x 30	352.00	6.90	171.00	9.80	10.00	332.40	312.40	57.30	44.65	12.160.00	691.00	14.80	818.00	95.70	3.78	778.00	148.00	16.20				
WF 14 x 34	355.00	7.20	171.00	11.60	10.00	331.80	311.80	64.40	50.80	14.120.00	796.00	14.80	968.00	113.00	3.88	893.00	174.00	23.80				
WF 14 x 38	358.00	7.90	172.00	13.10	10.00	331.80	311.80	72.10	56.55	16.040.00	896.00	14.90	1.113.00	129.00	3.93	1.009.00	199.00	33.50				
WF 14 x 61	353.00	9.50	254.00	16.40	15.00	320.20	290.20	116.00	90.78	26.690.00	1.512.00	15.20	4.483.00	353.00	6.23	1.876.00	538.00	81.20				
WF 14 x 68	357.00	10.50	255.00	18.30	15.00	320.40	290.40	129.00	101.20	30.150.00	1.689.00	15.30	5.062.00	397.00	6.27	1.860.00	605.00	125.00				
WF 14 x 74	360.00	11.40	256.00	19.90	15.00	320.20	290.20	140.00	110.12	33.090.00	1.836.00	15.40	5.570.00	435.00	6.30	2.055.00	664.00	180.00				
WF 14 x 82	363.00	13.00	257.00	21.70	15.00	319.60	289.60	155.00	122.03	36.530.00	2.013.00	15.40	6.147.00	478.00	6.30	2.266.00	732.00	212.00				
WF 14 x 90	366.00	11.20	269.00	18.00	15.00	320.00	290.00	171.00	133.93	41.510.00	2.332.00	15.60	15.060.00	817.00	9.40	2.562.00	1.237.00	169.00				
WF 14 x 99	360.00	12.30	370.00	19.80	15.00	320.40	290.40	188.00	147.33	46.290.00	2.572.00	15.70	16.720.00	904.00	9.43	2.838.00	1.369.00	224.00				
WF 14 x 109	364.00	13.30	371.00	21.80	15.00	320.40	290.40	206.00	162.21	51.540.00	2.832.00	15.80	18.560.00	1.001.00	9.49	3.139.00	1.516.00	296.00				
WF 14 x 120	368.00	15.00	373.00	23.90	15.00	320.20	290.20	228.00	178.58	57.440.00	3.122.00	15.90	20.880.00	1.109.00	9.52	3.482.00	1.683.00	394.00				
WF 14 x 132	372.00	16.40	374.00	26.20	15.00	319.60	289.60	250.00	196.44	63.630.00	3.421.00	15.90	22.860.00	1.222.00	9.56	3.837.00	1.856.00	517.00				
WF 14 x 145	375.00	17.30	394.00	27.70	15.00	319.60	289.60	275.00	215.78	71.140.00	3.794.00	16.10	26.250.00	1.434.00	10.10	4.262.00	2.176.00	637.00				
WF 14 x 159	380.00	18.90	395.00	30.20	15.00	319.60	289.60	301.00	236.62	78.780.00	4.146.00	16.20	31.040.00	1.572.00	10.20	4.886.00	2.387.00	825.00				
WF 14 x 176	387.00	21.10	398.00	33.30	15.00	320.40	290.40	335.00	261.92	89.410.00	4.620.00	16.30	35.020.00	1.760.00	10.20	5.260.00	2.876.00	1.116.00				
WF 14 x 193	393.00	22.60	399.00	36.60	15.00	319.80	289.80	368.00	287.22	99.710.00	5.074.00	16.50	38.780.00	1.944.00	10.30	5.813.00	2.957.00	1.484.00				
WF 14 x 211	399.00	24.90	401.00	39.60	15.00	319.80	289.80	399.00	314.00	110.200.00	5.525.00	16.60	42.600.00	2.125.00	10.30	6.374.00	3.236.00	1.870.00				
WF 14 x 233	407.00	27.20	404.00	43.70	15.00	319.60	289.60	442.00	346.74	124.900.00	6.140.00	16.80	46.090.00	2.380.00	10.40	7.139.00	3.529.00	2.510.00				
WF 14 x 257	416.00	29.80	406.00	48.00	15.00	320.00	290.00	487.00	382.46	141.300.00	6.794.00	17.00	53.620.00	2.641.00	10.50	7.965.00	4.031.00	3.326.00				
WF 14 x 283	425.00	32.80	409.00	52.60	15.00	319.80	289.80	537.00	421.15	159.600.00	7.510.00	17.20	60.080.00	2.938.00	10.60	8.880.00	4.489.00	4.398.00				
WF 14 x 311	435.00	35.80	412.00	57.40	15.00	320.20	290.20	590.00	462.82	180.200.00	8.283.00	17.50	67.040.00	3.254.00	10.70	9.878.00	4.578.00	5.735.00				
WF 14 x 342	446.00	39.10	416.00	62.70	15.00	320.60	290.60	649.00	508.95	204.500.00	9.172.00	17.80	75.460.00	3.625.00	10.80	11.030.00	5.552.00	7.513.00				
WF 14 x 370	455.00	42.00	418.00	67.60	15.00	319.80	289.80	701.00	550.82	226.100.00	9.939.00	18.00	82.490.00	3.947.00	10.80	12.050.00	6.051.00	9.410.00				
WF 14 x 398	465.00	45.00	421.00	72.30	15.00	320.40	290.40	755.00	592.29	250.200.00	10.760.00	18.20	90.170.00	4.284.00	10.90	13.140.00	6.574.00	11.580.00				
WF 14 x 426	474.00	47.60	424.00	77.10	15.00	319.80	289.80	808.00	633.96	274.200.00	11.570.00	18.40	98.250.00	4.634.00	11.00	14.220.00	7.117.00	14.020.00				
WF 14 x 455	483.00	51.20	428.00	81.50	15.00	320.00	290.00	863.00	677.12	299.500.00	12.400.00	18.60	106.900.00	4.994.00	11.10	15.350.00	7.880.00	16.790.00				
WF 14 x 500	498.00	55.60	432.00	88.90	15.00	320.20	290.20	948.00	744.08	342.100.00	13.740.00	19.00	119.900.00	5.552.00	11.20	17.170.00	8.541.00	21.840.00				
WF 14 x 550	514.00	60.50	437.00	97.00	15.00	320.00	290.00	1.043.00	818.48	392.200.00	15.260.00	19.40	135.500.00	6.203.00	11.40	19.260.00	9.581.00	28.510.00				
WF 14 x 605	531.00	65.90	442.00	106.00	15.00	319.00	289.00	1.149.00	900.34	450.200.00	16.980.00	19.80	153.300.00	6.938.00	11.60	21.620.00	10.710.00	37.350.00				
WF 14 x 665	550.00	71.90	448.00	115.00	15.00	320.00	290.00	1.262.00	989.63	518.900.00	18.870.00	20.30	173.400.00	7.739.00	11.70	24.260.00	11.960.00	48.210.00				
WF 14 x 730	569.00	78.00	454.00	125.00	15.00	319.00	289.00	1.386.00	1.086.38	595.700.00	20.940.00	20.70	196.200.00	8.645.00	11.90	27.210.00	13.380.00	62.290.00				
WF 16 x 36	403.00	7.50	177.00	10.90	10.00	381.20	361.20	68.00	53.57	18.800.00	923.00	18.60	1.009.00	114.00	3.85	1.045.00	177.00	22.80				
WF 16 x 40	407.00	7.70	178.00	12.80	10.00	381.40	361.40	75.80	59.53	21.570.00	1.060.00	18.90	1.205.00	135.00	3.99	1.194.00	209.00	32.80				
WF 16 x 45	410.00	8.80	179.00	14.40	10.00	381.20	361.20	86.00	66.97	24.550.00	1.197.00	18.90	1.379.00	154.00	4.01	1.356.00	239.00	47.10				
WF 16 x 50	413.00	9.70	180.00	16.00	10.00	381.00	361.00	95.40	74.41	27.480.00	1.331.00	17.00	1.559.00	173.00	4.04	1.512.00	289.00	64.00				
WF 16 x 57	417.00	10.90	181.00	18.20	10.00	380.60	360.60	108.00	84.83	31.530.00	1.512.00	17.10	1.603.00	199.00	4.08	1.725.00	310.00	93.10				



## PERFILES H AMERICANO DE ALA ANCHA - WF



### PERFILES WF

### Dimensiones y propiedades para el diseño

DESIGNACION	DIMENSIONES							AREA	PESO	PROPIEDADES ELASTICAS						MODULO PLASTICO		CONS TORS
	ALTURA		ALA		DISTANCIAS					EJE X-X			EJE Y-Y			Zx	Zy	
	h	s	b	t	r	c	d			Ix	Sx	rx	Iy	Sy	ry	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>	
WF 16 x 67	415.00	13.00	260.00	16.90	10.00	381.20	381.20	127.00	99.71	39.760.00	1.916.00	17.70	4.854.00	381.00	6.25	2.129.00	581.00	99.70
WF 16 x 77	420.00	11.60	261.00	19.30	10.00	381.40	381.40	148.00	114.59	46.140.00	2.197.00	17.80	5.725.00	439.00	6.27	2.455.00	671.00	149.00
WF 16 x 89	425.00	13.30	263.00	22.20	10.00	380.60	360.60	168.00	132.45	53.830.00	2.533.00	17.90	6.739.00	512.00	6.33	2.850.00	785.00	227.00
WF 16 x 100	431.00	14.90	265.00	25.00	10.00	381.00	361.00	190.00	148.82	61.840.00	2.870.00	18.00	7.765.00	586.00	6.39	3.247.00	900.00	324.00
WF 18 x 35	450.00	7.60	152.00	10.80	10.00	428.40	408.40	66.20	52.09	21.200.00	942.00	17.90	634.00	83.40	3.09	1.088.00	131.00	21.20
WF 18 x 40	455.00	8.00	153.00	13.30	10.00	428.40	408.40	75.80	59.53	25.480.00	1.120.00	18.30	796.00	104.00	3.24	1.284.00	163.00	33.60
WF 18 x 46	459.00	9.10	154.00	15.40	10.00	428.20	408.20	87.30	68.46	29.680.00	1.293.00	18.40	941.00	122.00	3.28	1.487.00	192.00	51.10
WF 18 x 50	457.00	9.00	190.00	14.50	10.00	428.00	408.00	94.50	74.41	33.250.00	1.455.00	18.80	1.661.00	175.00	4.19	1.649.00	271.00	51.90
WF 18 x 55	460.00	9.90	191.00	16.00	10.00	428.00	408.00	104.00	81.85	36.990.00	1.608.00	18.80	1.862.00	195.00	4.22	1.828.00	303.00	69.50
WF 18 x 60	463.00	10.50	192.00	17.70	10.00	427.80	407.80	114.00	89.29	40.940.00	1.768.00	19.00	2.093.00	218.00	4.29	2.011.00	339.00	91.10
WF 18 x 65	466.00	11.40	193.00	19.00	10.00	428.00	408.00	123.00	96.73	44.490.00	1.909.00	19.00	2.280.00	237.00	4.31	2.179.00	368.00	114.00
WF 18 x 71	469.00	12.60	194.00	20.60	10.00	427.80	407.80	135.00	105.66	48.610.00	2.081.00	19.00	2.515.00	259.00	4.32	2.387.00	405.00	147.00
WF 18 x 76	463.00	10.80	280.00	17.30	10.00	428.40	408.40	144.00	113.10	55.600.00	2.402.00	19.60	6.335.00	452.00	6.63	2.673.00	691.00	119.00
WF 18 x 86	467.00	12.20	282.00	19.60	10.00	427.80	407.80	164.00	127.98	63.700.00	2.728.00	19.70	7.333.00	520.00	6.70	3.049.00	796.00	173.00
WF 18 x 97	472.00	13.60	283.00	22.10	10.00	427.80	407.80	184.00	144.35	72.610.00	3.076.00	19.90	8.358.00	591.00	6.74	3.454.00	906.00	246.00
WF 18 x 106	476.00	15.00	284.00	23.90	10.00	428.20	408.20	201.00	157.75	79.630.00	3.346.00	19.90	9.137.00	643.00	6.74	3.774.00	989.00	314.00
WF 18 x 119	482.00	16.60	286.00	26.90	10.00	428.20	408.20	226.00	177.09	91.010.00	3.776.00	20.10	10.510.00	735.00	6.82	4.280.00	1.131.00	445.00
WF 18 x 130	489.00	17.00	283.00	30.50	10.00	428.00	408.00	246.00	193.46	102.400.00	4.186.00	20.40	11.540.00	816.00	6.85	4.754.00	1.253.00	607.00
WF 18 x 143	495.00	18.50	285.00	33.50	10.00	428.00	408.00	271.00	212.81	114.300.00	4.619.00	20.50	12.950.00	909.00	6.91	5.272.00	1.398.00	803.00
WF 18 x 158	501.00	20.60	287.00	36.60	10.00	427.80	407.80	299.00	235.13	127.300.00	5.083.00	20.60	14.450.00	1.007.00	6.95	5.839.00	1.554.00	1.059.00
WF 18 x 175	509.00	22.60	289.00	40.40	10.00	428.20	408.20	331.00	260.43	143.700.00	5.846.00	20.80	16.300.00	1.128.00	7.01	6.525.00	1.743.00	1.423.00
WF 18 x 192	517.00	24.40	291.00	44.40	10.00	428.20	408.20	364.00	285.73	161.100.00	6.231.00	21.00	18.290.00	1.257.00	7.09	7.243.00	1.945.00	1.877.00
WF 18 x 211	525.00	26.80	293.00	48.50	10.00	428.00	408.00	400.00	314.00	179.800.00	6.851.00	21.20	20.400.00	1.383.00	7.14	8.021.00	2.161.00	2.461.00
WF 18 x 234	535.00	29.50	296.00	53.60	10.00	427.80	407.80	444.00	348.23	204.200.00	7.535.00	21.40	23.260.00	1.572.00	7.24	9.006.00	2.443.00	3.323.00
WF 18 x 258	545.00	32.50	299.00	58.40	10.00	428.20	408.20	489.00	383.95	229.400.00	8.417.00	21.70	26.140.00	1.749.00	7.31	10.000.00	2.725.00	4.339.00
WF 18 x 283	555.00	35.60	302.00	63.50	10.00	428.00	408.00	537.00	421.15	256.600.00	9.246.00	21.90	29.310.00	1.941.00	7.39	11.070.00	3.033.00	5.621.00
WF 18 x 311	567.00	38.60	305.00	69.60	10.00	427.80	407.80	591.00	462.82	289.800.00	10.230.00	22.20	33.120.00	2.172.00	7.49	12.340.00	3.398.00	7.385.00
WF 21 x 44	525.00	8.90	165.00	11.40	13.00	502.20	476.20	83.80	65.48	35.100.00	1.337.00	20.50	857.00	104.00	3.20	1.563.00	166.00	33.30
WF 21 x 50	529.00	9.70	166.00	13.60	13.00	501.80	475.80	95.30	74.41	41.100.00	1.554.00	20.80	1.042.00	125.00	3.31	1.810.00	200.00	49.20
WF 21 x 57	535.00	10.30	166.00	16.50	13.00	502.00	476.00	108.00	84.83	48.580.00	1.816.00	21.20	1.264.00	152.00	3.42	2.105.00	242.00	74.50
WF 21 x 62	533.00	10.20	209.00	15.60	13.00	501.80	475.80	118.00	92.27	55.290.00	2.075.00	21.70	2.379.00	228.00	4.49	2.365.00	355.00	77.20
WF 21 x 68	537.00	10.90	210.00	17.40	13.00	502.20	476.20	129.00	101.20	61.740.00	2.300.00	21.90	2.692.00	256.00	4.56	2.622.00	400.00	103.00
WF 21 x 73	539.00	11.60	211.00	18.80	13.00	501.40	475.40	139.00	108.84	66.770.00	2.478.00	21.90	2.951.00	280.00	4.61	2.829.00	437.00	128.00
WF 21 x 83	544.00	13.10	212.00	21.20	13.00	501.60	475.60	157.00	123.52	76.120.00	2.799.00	22.00	3.377.00	319.00	4.64	3.210.00	499.00	183.00
WF 21 x 93	549.00	14.70	214.00	23.60	13.00	501.80	475.80	176.00	138.40	86.120.00	3.138.00	22.10	3.870.00	362.00	4.69	3.615.00	569.00	254.00
WF 21 x 101	543.00	12.70	312.00	20.30	13.00	502.40	476.40	192.00	150.30	100.900.00	3.716.00	22.90	10.290.00	659.00	7.32	4.148.00	1.010.00	218.00
WF 21 x 111	546.00	14.00	313.00	22.20	13.00	501.60	475.60	211.00	165.19	111.000.00	4.066.00	23.00	11.360.00	726.00	7.34	4.556.00	1.113.00	266.00
WF 21 x 122	551.00	15.20	315.00	24.40	13.00	502.20	476.20	232.00	181.56	123.800.00	4.486.00	23.10	12.730.00	808.00	7.41	5.042.00	1.241.00	378.00
WF 21 x 132	554.00	16.50	316.00	26.30	13.00	501.40	475.40	250.00	198.44	134.000.00	4.839.00	23.10	13.850.00	877.00	7.44	5.459.00	1.349.00	475.00
WF 21 x 147	560.00	18.30	318.00	29.20	13.00	501.60	475.60	279.00	218.76	151.100.00	5.396.00	23.30	15.680.00	986.00	7.50	6.116.00	1.520.00	650.00
WF 21 x 166	571.00	19.00	315.00	34.50	13.00	502.00	476.00	314.00	247.04	177.500.00	6.219.00	23.80	18.000.00	1.143.00	7.57	7.063.00	1.759.00	986.00
WF 21 x 182	577.00	21.10	317.00	37.60	13.00	501.80	475.80	346.00	270.85	196.800.00	6.821.00	23.90	20.000.00	1.262.00	7.61	7.793.00	1.947.00	1.289.00
WF 21 x 201	585.00	23.10	319.00	41.40	13.00	502.20	476.20	382.00	299.12	220.800.00	7.548.00	24.10	22.450.00	1.408.00	7.67	8.672.00	2.176.00	1.718.00
WF 21 x 223	593.00	25.40	322.00	45.50	13.00	502.00	476.00	422.00	331.86	247.800.00	8.356.00	24.20	25.390.00	1.577.00	7.78	9.658.00	2.442.00	2.290.00





## PERFILES H AMERICANO DE ALA ANCHA - WF

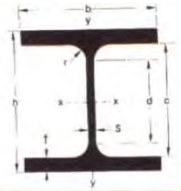


### PERFILES WF

### Dimensiones y propiedades para el diseño

DESIGNACION	DIMENSIONES								AREA	PESO	PROPIEDADES ELASTICAS							MODULO PLASTICO		CONS TORS
	ALTURA		ALA		DISTANCIAS						EJE X-X			EJE Y-Y				Zx	Zy	
	h	s	b	t	r	c	d	Ix			Sx	rx	Iy	Sy	ry	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>			
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>4</sup>			cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>			
WF 21 x 248	603.00	26.20	324.00	50.50	13.00	502.00	476.00	460.00	369.07	278.900.00	9.252.00	24.80	28.710.00	1.772.00	7.90	10.730.00	2.739.00	3.030.00		
WF 21 x 275	613.00	31.00	327.00	55.60	13.00	501.80	475.80	521.00	409.25	316.900.00	10.340.00	24.70	32.530.00	1.990.00	7.90	12.120.00	3.096.00	4.191.00		
WF 21 x 300	623.00	33.50	330.00	60.50	13.00	502.00	476.00	569.00	446.45	353.300.00	11.340.00	24.90	36.400.00	2.206.00	8.00	13.380.00	3.438.00	5.400.00		
WF 21 x 333	635.00	37.10	334.00	66.50	13.00	502.00	476.00	632.00	495.56	400.600.00	12.620.00	25.20	41.520.00	2.486.00	8.11	15.000.00	3.885.00	7.236.00		
WF 21 x 364	647.00	40.40	337.00	72.40	13.00	502.20	476.20	692.00	541.69	448.400.00	13.860.00	25.50	46.470.00	2.758.00	8.18	16.600.00	4.319.00	9.364.00		
WF 21 x 402	661.00	43.90	340.00	79.50	13.00	502.00	476.00	762.00	598.24	507.00.00	15.340.00	25.80	52.440.00	3.085.00	8.29	18.520.00	4.841.00	12.350.00		
WF 24 x 55	599.00	10.00	178.00	12.80	13.00	573.40	547.40	104.00	81.85	56.030.00	1.871.00	23.20	1.209.00	136.00	3.40	2.199.00	218.00	50.60		
WF 24 x 62	603.00	10.90	179.00	15.00	13.00	573.00	547.00	118.00	92.27	64.680.00	2.145.00	23.50	1.441.00	161.00	3.50	2.515.00	259.00	72.80		
WF 24 x 68	603.00	10.50	228.00	14.90	13.00	573.20	547.20	130.00	101.20	78.410.00	2.534.00	24.30	2.950.00	259.00	4.77	2.902.00	404.00	79.60		
WF 24 x 76	608.00	11.20	228.00	17.30	13.00	573.40	547.40	145.00	113.10	87.600.00	2.882.00	24.60	3.425.00	300.00	4.87	3.292.00	469.00	113.00		
WF 24 x 84	612.00	11.90	229.00	19.60	13.00	572.80	546.80	159.00	125.01	98.590.00	3.222.00	24.90	3.932.00	343.00	4.97	3.676.00	535.00	156.00		
WF 24 x 94	617.00	13.10	230.00	22.20	13.00	572.60	546.60	179.00	139.89	112.000.00	3.631.00	25.00	4.514.00	393.00	5.03	4.152.00	613.00	220.00		
WF 24 x 104	611.00	12.70	324.00	19.00	13.00	573.00	547.00	197.00	154.77	129.000.00	4.222.00	25.80	10.780.00	666.00	7.39	4.728.00	1.022.00	198.00		
WF 24 x 117	616.00	14.00	325.00	21.60	13.00	572.80	546.80	222.00	174.12	147.200.00	4.778.00	25.70	12.370.00	761.00	7.46	5.382.00	1.170.00	283.00		
WF 24 x 131	622.00	15.40	327.00	24.40	13.00	573.20	547.20	249.00	194.95	167.900.00	5.398.00	26.00	14.240.00	871.00	7.56	6.074.00	1.340.00	401.00		
WF 24 x 146	626.00	16.50	328.00	27.70	13.00	572.60	546.60	278.00	217.27	190.800.00	6.076.00	26.20	16.310.00	995.00	7.67	6.848.00	1.531.00	565.00		
WF 24 x 162	635.00	17.90	329.00	31.00	13.00	573.00	547.00	308.00	241.08	215.400.00	6.785.00	26.40	18.430.00	1.120.00	7.74	7.871.00	1.725.00	776.00		
WF 24 x 176	641.00	19.00	327.00	34.00	13.00	573.00	547.00	333.00	261.92	236.000.00	7.363.00	26.60	19.850.00	1.214.00	7.72	8.349.00	1.871.00	998.00		
WF 24 x 192	647.00	20.60	329.00	37.10	13.00	572.80	546.80	364.00	285.73	260.700.00	8.059.00	26.80	22.060.00	1.341.00	7.79	9.175.00	2.071.00	1.295.00		
WF 24 x 207	653.00	22.10	330.00	39.90	13.00	573.20	547.20	391.00	308.05	283.700.00	8.688.00	26.90	23.950.00	1.452.00	7.82	9.929.00	2.245.00	1.608.00		
WF 24 x 229	661.00	24.40	333.00	43.90	13.00	573.20	547.20	434.00	340.79	318.300.00	9.630.00	27.10	27.090.00	1.627.00	7.90	11.070.00	2.522.00	2.153.00		
WF 24 x 250	669.00	26.40	335.00	48.00	13.00	573.00	547.00	474.00	372.04	353.200.00	10.560.00	27.30	30.170.00	1.801.00	1.98	12.190.00	2.796.00	2.802.00		
WF 24 x 279	679.00	29.50	338.00	53.10	13.00	572.80	546.80	529.00	415.20	399.800.00	11.780.00	27.50	34.300.00	2.030.00	8.05	13.690.00	3.160.00	3.824.00		
WF 24 x 306	689.00	32.00	340.00	57.90	13.00	573.20	547.20	579.00	455.38	444.500.00	12.900.00	27.70	38.090.00	2.241.00	8.11	15.090.00	3.496.00	4.848.00		
WF 24 x 335	699.00	35.10	343.00	63.00	13.00	573.00	547.00	635.00	498.54	494.700.00	14.150.00	27.90	42.580.00	2.483.00	8.19	16.670.00	3.885.00	6.420.00		
WF 24 x 370	711.00	38.60	347.00	69.10	13.00	572.80	546.80	702.00	550.62	557.500.00	15.680.00	28.20	48.400.00	2.790.00	8.30	18.600.00	4.377.00	8.525.00		
WF 24 x 408	725.00	41.90	351.00	75.90	13.00	573.20	547.20	774.00	607.17	630.700.00	17.400.00	28.50	55.060.00	3.137.00	8.43	20.780.00	4.931.00	11.280.00		
WF 24 x 450	739.00	46.00	354.00	83.10	13.00	572.80	546.80	853.00	669.67	709.400.00	19.200.00	28.80	61.920.00	3.498.00	8.52	23.110.00	5.514.00	14.850.00		
WF 24 x 492	753.00	50.00	359.00	89.90	13.00	573.20	547.20	934.00	732.18	793.500.00	21.080.00	29.20	69.930.00	3.896.00	8.66	25.550.00	6.155.00	18.980.00		
WF 27 x 84	678.00	11.70	253.00	16.30	15.00	645.40	615.40	160.00	125.01	118.500.00	3.495.00	27.20	4.410.00	349.00	5.25	4.009.00	546.00	119.00		
WF 27 x 94	684.00	12.40	254.00	18.90	15.00	646.20	616.20	178.00	139.99	136.100.00	3.978.00	27.60	5.174.00	407.00	5.39	4.549.00	636.00	168.00		
WF 27 x 102	688.00	13.10	254.00	21.10	15.00	645.80	615.80	194.00	151.79	150.600.00	4.378.00	27.90	5.777.00	455.00	5.46	5.002.00	710.00	221.00		
WF 27 x 114	693.00	14.50	256.00	23.60	15.00	645.80	615.80	216.00	169.65	169.900.00	4.904.00	28.00	6.618.00	517.00	5.53	5.618.00	809.00	307.00		
WF 27 x 146	695.00	15.40	355.00	24.80	15.00	645.40	615.40	277.00	217.27	234.300.00	6.742.00	29.10	18.510.00	1.043.00	8.17	7.566.00	1.603.00	459.00		
WF 27 x 161	701.00	16.80	356.00	27.40	15.00	646.20	616.20	306.00	239.59	261.200.00	7.451.00	29.20	20.830.00	1.159.00	8.22	8.386.00	1.784.00	612.00		
WF 27 x 178	706.00	18.40	358.00	30.20	15.00	645.60	615.60	337.00	264.89	290.300.00	8.223.00	29.40	23.130.00	1.292.00	8.29	9.285.00	1.992.00	817.00		
WF 27 x 194	714.00	19.00	356.00	34.00	15.00	646.00	616.00	367.00	288.70	324.700.00	9.098.00	29.80	25.610.00	1.439.00	8.36	10.270.00	2.215.00	1.099.00		
WF 27 x 217	722.00	21.10	359.00	38.10	15.00	645.80	615.80	412.00	322.93	369.500.00	10.240.00	30.00	29.430.00	1.640.00	8.45	11.620.00	2.530.00	1.543.00		
WF 27 x 235	728.00	23.10	360.00	40.90	15.00	646.20	616.20	446.00	349.72	401.900.00	11.040.00	30.00	31.870.00	1.771.00	8.46	12.590.00	2.739.00	1.927.00		
WF 27 x 258	736.00	24.90	362.00	45.00	15.00	646.00	616.00	489.00	383.95	447.400.00	12.160.00	30.30	35.870.00	1.971.00	8.54	13.920.00	3.052.00	2.541.00		





## PERFILES H AMERICANO DE ALA ANCHA - WF

### PERFILES WF

### Dimensiones y propiedades para el diseño

DESIGNACION	DIMENSIONES								AREA	PESO	PROPIEDADES ELASTICAS						MODULO PLASTICO		CONS TORS	
	ALA				DISTANCIAS						EJE X-X			EJE Y-Y			Zx	Zy		
	h	s	b	t	r	c	d	Ix			Sx	rx	Iy	Sy	ry	cm3		cm3		
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm2	kg/mt	cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm	cm3	cm3	cm4		
WF 27 x 281	744.00	26.90	364.00	49.00	15.00	646.00	616.00	532.00	418.17	493,900.00	13,280.00	30.50	39,500.00	2,170.00	8.61	15,260.00	3,366.00	3,270.00		
WF 27 x 307	752.00	29.50	367.00	53.10	15.00	645.80	615.80	582.00	456.87	545,000.00	14,500.00	30.80	43,890.00	2,392.00	8.68	16,760.00	3,720.00	4,200.00		
WF 27 x 336	762.00	32.00	369.00	57.90	15.00	646.20	616.20	636.00	500.02	604,700.00	15,870.00	30.80	48,670.00	2,636.00	8.75	18,450.00	4,111.00	5,433.00		
WF 27 x 358	772.00	35.10	372.00	63.00	15.00	646.00	616.00	697.00	532.76	671,400.00	17,390.00	31.00	54,290.00	2,919.00	8.82	20,340.00	4,562.00	7,047.00		
WF 27 x 407	784.00	38.60	376.00	69.10	15.00	645.80	615.80	771.00	605.68	754,600.00	19,250.00	31.30	61,540.00	3,273.00	8.93	22,660.00	5,129.00	9,352.00		
WF 27 x 448	798.00	41.90	379.00	75.90	15.00	646.20	616.20	848.00	666.70	848,900.00	21,280.00	31.60	69,270.00	3,656.00	9.04	25,210.00	5,739.00	12,330.00		
WF 27 x 494	812.00	46.00	383.00	83.10	15.00	645.80	615.80	936.00	735.15	954,400.00	23,510.00	31.90	78,350.00	4,091.00	9.15	28,060.00	6,442.00	16,270.00		
WF 27 x 539	826.00	50.00	387.00	89.90	15.00	646.20	616.20	1,021.00	802.12	1,061,700.00	25,710.00	32.20	87,530.00	4,524.00	9.26	30,890.00	7,141.00	20,740.00		
WF 30 x 99	753.00	13.20	265.00	17.00	17.00	719.00	685.00	187.00	147.33	166,100.00	4,411.00	29.80	5,289.00	399.00	5.31	5,110.00	631.00	162.00		
WF 30 x 108	758.00	13.80	266.00	19.30	17.00	719.40	685.40	204.00	160.72	186,100.00	4,909.00	30.20	6,073.00	457.00	5.45	5,666.00	720.00	212.00		
WF 30 x 116	762.00	14.40	267.00	21.80	17.00	718.80	684.80	221.00	172.63	205,800.00	5,402.00	30.50	6,873.00	515.00	5.57	6,218.00	810.00	274.00		
WF 30 x 124	766.00	14.90	267.00	23.80	17.00	718.80	684.80	236.00	184.53	223,000.00	5,821.00	30.80	7,510.00	563.00	5.65	6,691.00	884.00	337.00		
WF 30 x 132	770.00	15.60	268.00	25.40	17.00	719.20	685.20	251.00	196.44	240,300.00	6,241.00	31.00	8,175.00	610.00	5.71	7,174.00	959.00	408.00		
WF 30 x 173	773.00	16.60	381.00	27.10	17.00	718.80	684.80	328.00	257.45	341,900.00	8,845.00	32.30	25,610.00	1,313.00	6.73	9,934.00	2,019.00	843.00		
WF 30 x 191	779.00	18.00	382.00	30.10	17.00	718.80	684.80	362.00	284.24	381,500.00	9,794.00	32.50	28,000.00	1,466.00	6.80	11,020.00	2,258.00	886.00		
WF 30 x 211	786.00	19.70	384.00	33.40	17.00	719.20	685.20	401.00	314.00	427,700.00	10,880.00	32.70	31,570.00	1,644.00	6.88	12,290.00	2,536.00	1,172.00		
WF 30 x 235	795.00	21.10	382.00	38.10	17.00	718.80	684.40	445.00	349.72	485,700.00	12,220.00	33.00	35,460.00	1,856.00	6.92	13,830.00	2,863.00	1,662.00		
WF 30 x 261	803.00	23.60	385.00	41.90	17.00	719.20	685.20	495.00	388.41	544,000.00	13,550.00	33.20	39,940.00	2,075.00	6.98	15,420.00	3,209.00	2,237.00		
WF 30 x 292	813.00	25.90	387.00	47.00	17.00	719.00	685.00	552.00	434.54	617,700.00	15,190.00	33.40	45,510.00	2,352.00	7.08	17,370.00	3,644.00	3,117.00		
WF 30 x 326	823.00	29.00	390.00	52.10	17.00	718.80	684.80	617.00	485.14	697,600.00	16,950.00	33.60	51,660.00	2,649.00	7.15	19,500.00	4,118.00	4,276.00		
WF 30 x 357	833.00	31.50	393.00	56.90	17.00	719.20	685.20	676.00	531.28	775,500.00	18,620.00	33.90	57,760.00	2,939.00	7.24	21,520.00	4,577.00	5,567.00		
WF 30 x 391	843.00	34.50	396.00	62.00	17.00	719.00	685.00	742.00	581.87	860,400.00	20,410.00	34.10	64,430.00	3,254.00	7.32	23,720.00	5,080.00	7,238.00		
WF 30 x 433	855.00	38.10	399.00	68.10	17.00	718.80	684.80	820.00	644.38	964,400.00	22,560.00	34.30	72,440.00	3,631.00	7.40	26,390.00	5,687.00	9,634.00		
WF 30 x 477	869.00	41.40	403.00	74.90	17.00	719.20	685.20	904.00	709.86	1,086,000.00	24,990.00	34.70	82,140.00	4,077.00	7.53	28,410.00	6,396.00	12,780.00		
WF 30 x 526	883.00	45.50	407.00	82.00	17.00	719.00	685.00	997.00	782.78	1,218,500.00	27,600.00	35.00	92,720.00	4,556.00	7.64	32,700.00	7,170.00	18,860.00		
WF 30 x 581	899.00	50.00	411.00	89.90	17.00	719.20	685.20	1,101.00	864.62	1,372,500.00	30,530.00	35.30	104,800.00	5,099.00	7.76	36,450.00	8,050.00	22,310.00		
WF 33 x 118	835.00	14.00	292.00	18.80	18.00	797.40	761.40	224.00	175.60	246,400.00	5,901.00	33.10	7,823.00	536.00	5.91	6,816.00	844.00	227.00		
WF 33 x 130	840.00	14.70	292.00	21.70	18.00	796.80	760.80	247.00	183.46	278,400.00	6,530.00	33.80	9,079.00	618.00	6.05	7,627.00	971.00	310.00		
WF 33 x 141	846.00	15.40	293.00	24.40	18.00	797.20	761.20	269.00	209.83	310,700.00	7,346.00	34.00	10,260.00	700.00	6.18	8,430.00	1,093.00	409.00		
WF 33 x 152	851.00	16.10	294.00	26.80	18.00	797.40	761.40	289.00	226.20	340,100.00	7,992.00	34.30	11,380.00	774.00	6.28	9,163.00	1,213.00	518.00		
WF 33 x 201	855.00	18.20	400.00	29.20	18.00	796.80	760.80	381.00	299.12	479,400.00	11,210.00	35.50	31,190.00	1,560.00	6.94	12,840.00	2,406.00	863.00		
WF 33 x 221	862.00	19.70	401.00	32.40	18.00	797.20	761.20	420.00	328.88	534,800.00	12,410.00	37.70	34,880.00	1,739.00	6.92	14,020.00	2,866.00	1,155.00		
WF 33 x 241	868.00	21.10	403.00	35.60	18.00	796.80	760.80	458.00	358.65	590,600.00	13,610.00	35.90	38,900.00	1,931.00	6.92	15,400.00	2,984.00	1,507.00		
WF 33 x 263	877.00	22.10	401.00	39.90	18.00	797.20	761.20	499.00	391.39	658,600.00	15,020.00	36.30	42,960.00	2,143.00	6.98	17,010.00	3,310.00	2,021.00		
WF 33 x 291	885.00	24.40	404.00	43.90	18.00	797.20	761.20	552.00	433.06	735,300.00	16,620.00	36.50	48,350.00	2,394.00	6.96	18,900.00	3,706.00	2,702.00		
WF 33 x 318	893.00	26.40	406.00	48.00	18.00	797.00	761.00	603.00	473.24	812,200.00	18,190.00	36.70	53,670.00	2,644.00	6.93	20,770.00	4,100.00	3,512.00		
WF 33 x 354	903.00	29.50	409.00	53.10	18.00	796.80	760.80	672.00	526.81	914,100.00	20,250.00	36.90	60,730.00	2,970.00	6.91	23,250.00	4,620.00	4,788.00		
WF 33 x 387	913.00	32.00	411.00	57.90	18.00	797.20	761.20	734.00	575.92	1,010,800.00	22,140.00	37.10	67,230.00	3,271.00	6.97	25,540.00	5,100.00	6,190.00		
WF 33 x 424	923.00	35.10	414.00	63.00	18.00	797.00	761.00	804.00	630.98	1,118,600.00	24,240.00	37.30	74,810.00	3,614.00	6.94	28,110.00	5,650.00	8,026.00		
WF 33 x 468	935.00	38.60	418.00	69.10	18.00	796.80	760.80	888.00	696.46	1,252,200.00	26,780.00	37.60	84,510.00	4,043.00	6.96	31,250.00	6,340.00	10,640.00		
WF 33 x 515	949.00	41.90	421.00	75.90	18.00	797.20	761.20	976.00	766.41	1,402,200.00	29,550.00	37.90	94,900.00	4,508.00	6.96	34,670.00	7,083.00	14,030.00		
WF 33 x 567	963.00	46.00	425.00	83.10	18.00	796.80	760.80	1,076.00	843.79	1,569,500.00	32,600.00	38.20	107,000.00	5,035.00	6.97	38,490.00	7,934.00	18,490.00		
WF 33 x 619	977.00	50.00	430.00	89.90	18.00	797.20	761.20	1,175.00	921.18	1,741,700.00	35,650.00	38.50	125,000.00	5,581.00	6.98	42,350.00	8,818.00	23,600.00		
WF 36 x 135	903.00	15.20	304.00	20.10	19.00	862.80	824.80	256.00	200.90	325,200.00	7,203.00	35.60	9,442.00	621.00	6.07	8,356.00	892.00	298.00		
WF 36 x 150	911.00	15.90	304.00	23.90	19.00	863.00	825.20	286.00	223.23	376,800.00	8,273.00	36.30	11,230.00	738.00	6.27	9,540.00	1,163.00	427.00		
WF 36 x 160	915.00	16.50	305.00	25.90	19.00	863.20	825.20	304.00	238.11	406,400.00	8,883.00	36.60	12,290.00	806.00	6.36	10,230.00	1,267.00	519.00		
WF 36 x 170	919.00	17.30	306.00	27.90	19.00	863.20	825.20	323.00	252.99	437,500.00	9,520.00	36.80	13,370.00	874.00	6.43	10,960.00	1,375.00	631.00		
WF 36 x 182	923.00	18.40	307.00	30.00	19.00	863.00	825.00	346.00	270.85	471,600.00	10,220.00	36.90	14,520.00	946.00	6.48	11,780.00	1,491.00	775.00		
WF 36 x 194	927.00	19.40	308.00	32.00	19.00	863.00	825.00	368.00	288.70	504,500.00	10,880.00	37.00	15,640.00	1,016.00	6.52	12,570.00	1,603.00	930.00		
WF 36 x 210	932.00	21.10	309.00	34.50	19.00	863.00	825.00	398.00	312.52	548,200.00	11,760.00	37.10	17,040.00	1,103.00	6.54	13,630.00	1,748.00	1,171.00		



## PERFILES H AMERICANO DE ALA ANCHA - WF



### PERFILES WF

### Dimensiones y propiedades para el diseño

DESIGNACION	DIMENSIONES								AREA	PESO	PROPIEDADES ELASTICAS						MODULO PLASTICO		CONS TORS
	ALTURA		ALA		DISTANCIAS						EJE X-X			EJE Y-Y			Zx	Zy	
	h	s	b	t	r	c	d	Ix			Sx	rx	Iy	Sy	ry	cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup>		
WF 36 x 230	912.00	19.30	418.00	32.00	24.00	848.00	800.00	436.00	342.28	624.900.00	13.700.00	37.90	39.010.00	1.867.00	9.46	15.450.00	2.882.00	1.193.00	
WF 36 x 245	916.00	20.30	419.00	34.30	24.00	847.40	799.40	464.00	364.60	670.500.00	14.640.00	38.00	42.120.00	2.011.00	9.52	16.520.00	3.106.00	1.446.00	
WF 36 X 260	921.00	21.30	420.00	36.60	24.00	847.80	799.80	493.00	386.92	718.300.00	15.600.00	38.20	45.280.00	2.156.00	9.58	17.630.00	3.332.00	1.734.00	
WF 36 x 280	928.00	22.50	422.00	39.90	24.00	848.20	800.20	533.00	416.69	787.800.00	16.970.00	38.50	50.070.00	2.373.00	9.70	19.210.00	3.668.00	2.200.00	
WF 36 x 300	933.00	24.00	423.00	42.70	24.00	847.80	799.60	570.00	446.45	848.900.00	18.150.00	38.80	53.980.00	2.552.00	9.73	20.600.00	3.951.00	2.685.00	
WF 36 x 328	942.00	25.90	422.00	47.00	24.00	848.00	800.00	621.00	488.12	935.400.00	19.860.00	38.80	59.010.00	2.797.00	9.75	22.810.00	4.336.00	3.514.00	
WF 36 x 359	950.00	28.40	425.00	51.10	24.00	847.80	799.80	680.00	534.25	1.031.200.00	21.710.00	38.90	65.560.00	3.085.00	9.82	24.830.00	4.796.00	4.542.00	
WF 36 x 393	960.00	31.00	427.00	55.90	24.00	848.20	800.20	745.00	584.85	1.143.100.00	23.810.00	39.20	72.770.00	3.408.00	9.88	27.360.00	5.310.00	5.932.00	
WF 36 x 439	972.00	34.50	431.00	62.00	24.00	848.00	800.00	832.00	653.31	1.292.100.00	26.590.00	39.40	83.050.00	3.854.00	9.99	30.730.00	6.022.00	8.124.00	
WF 36 x 485	984.00	38.10	434.00	68.10	24.00	847.80	799.80	919.00	721.76	1.444.100.00	29.350.00	39.60	93.200.00	4.295.00	10.10	34.120.00	6.733.00	10.800.00	
WF 36 x 527	996.00	40.90	437.00	73.90	24.00	848.20	800.20	998.00	784.26	1.592.500.00	31.980.00	40.00	103.300.00	4.728.00	10.20	37.340.00	7.424.00	13.730.00	
WF 36 x 588	1.012.00	45.50	442.00	82.00	24.00	848.00	800.00	1.116.00	875.04	1.811.300.00	35.800.00	40.30	118.700.00	5.372.00	10.30	42.090.00	8.463.00	18.850.00	
WF 36 x 650	1.028.00	50.00	446.00	89.90	24.00	848.20	800.20	1.231.00	967.31	2.032.600.00	39.540.00	40.60	133.900.00	6.003.00	10.40	46.810.00	9.486.00	24.930.00	
WF 36 x 720	1.046.00	55.00	451.00	99.10	24.00	847.80	799.80	1.365.00	1.071.48	2.299.000.00	43.960.00	41.00	152.700.00	6.774.00	10.60	52.410.00	10.740.00	33.450.00	
WF 36 x 798	1.066.00	60.50	457.00	109.00	24.00	848.00	800.00	1.514.00	1.187.56	2.607.000.00	48.910.00	41.50	175.000.00	7.659.00	10.80	58.750.00	12.180.00	44.720.00	
WF 36 x 848	1.078.00	64.00	461.00	115.10	24.00	847.80	799.80	1.609.00	1.261.97	2.805.200.00	52.040.00	41.80	189.900.00	8.237.00	10.90	62.800.00	13.120.00	52.910.00	
WF 40 x 149	970.00	16.00	300.00	21.00	30.00	928.00	868.00	282.00	221.74	406.500.00	8.380.00	38.00	9.501.00	833.00	5.80	9.777.00	1.016.00	403.00	
WF 40 x 167	980.00	16.50	300.00	26.00	30.00	928.00	868.00	317.00	248.52	481.100.00	9.818.00	39.00	11.750.00	784.00	6.09	11.350.00	1.245.00	584.00	
WF 40 x 183	990.00	16.50	300.00	31.00	30.00	928.00	868.00	347.00	272.33	553.800.00	11.190.00	40.00	14.000.00	934.00	6.35	12.820.00	1.470.00	822.00	
WF 40 x 211	1.090.00	19.00	300.00	36.00	30.00	928.00	868.00	400.00	314.00	644.700.00	12.890.00	40.10	16.280.00	1.085.00	6.38	14.860.00	1.716.00	1.254.00	
WF 40 x 235	1.098.00	21.00	302.00	40.00	30.00	928.00	868.00	444.00	349.72	722.300.00	14.330.00	40.30	18.460.00	1.222.00	6.45	16.570.00	1.940.00	1.701.00	
WF 40 x 174	970.00	16.50	400.00	21.00	30.00	928.00	868.00	329.00	258.84	504.400.00	10.400.00	39.20	22.450.00	1.123.00	8.26	11.880.00	1.755.00	483.00	
WF 40 x 199	982.00	16.50	400.00	27.00	30.00	928.00	868.00	377.00	296.15	618.700.00	12.500.00	40.50	26.850.00	1.443.00	8.75	14.220.00	2.235.00	757.00	
WF 40 x 215	990.00	16.50	400.00	31.00	30.00	928.00	868.00	409.00	319.96	696.400.00	14.070.00	41.30	33.120.00	1.656.00	9.00	15.800.00	2.555.00	1.021.00	
WF 40 x 249	1.000.00	19.00	400.00	36.00	30.00	928.00	868.00	472.00	370.55	812.100.00	16.240.00	41.50	38.480.00	1.924.00	9.03	18.330.00	2.978.00	1.565.00	
WF 40 x 277	1.008.00	21.00	402.00	40.00	30.00	928.00	868.00	524.00	412.22	909.800.00	18.050.00	41.70	43.410.00	2.160.00	9.10	20.440.00	3.348.00	2.128.00	
WF 40 x 297	1.012.00	23.60	402.00	41.90	30.00	928.00	868.20	564.00	441.99	966.500.00	19.100.00	41.40	45.500.00	2.264.00	9.98	21.780.00	3.529.00	2.545.00	
WF 40 x 324	1.020.00	25.40	404.00	46.00	30.00	928.00	868.00	615.00	482.17	1.067.500.00	20.930.00	41.70	50.710.00	2.510.00	9.08	23.920.00	3.919.00	3.311.00	
WF 40 x 362	1.030.00	28.40	407.00	51.10	30.00	927.80	867.80	687.00	538.72	1.202.500.00	23.350.00	41.80	57.630.00	2.832.00	9.16	26.820.00	4.436.00	4.546.00	
WF 40 x 397	1.040.00	31.00	409.00	55.90	30.00	928.20	868.20	753.00	590.80	1.331.000.00	25.600.00	42.10	64.010.00	3.130.00	9.22	29.530.00	4.916.00	5.927.00	
WF 40 x 436	1.050.00	34.00	412.00	61.00	30.00	928.00	868.00	826.00	648.84	1.473.300.00	28.060.00	42.20	71.450.00	3.468.00	9.30	32.530.00	5.464.00	7.723.00	
WF 40 x 480	1.062.00	37.10	416.00	67.10	30.00	927.80	867.80	910.00	714.32	1.646.800.00	31.010.00	42.50	80.960.00	3.892.00	9.43	36.110.00	6.145.00	10.240.00	
WF 40 x 531	1.075.00	40.90	419.00	73.90	30.00	927.20	867.20	1.006.00	790.22	1.842.200.00	34.270.00	42.80	91.190.00	4.353.00	9.52	40.140.00	6.896.00	13.870.00	
WF 40 x 593	1.092.00	45.50	424.00	82.00	30.00	928.00	868.00	1.125.00	882.48	2.096.400.00	38.400.00	43.20	105.000.00	4.952.00	9.66	45.260.00	7.874.00	18.750.00	
WF 40 x 655	1.108.00	50.00	428.00	89.90	30.00	928.20	868.20	1.241.00	974.75	2.348.700.00	42.400.00	43.50	118.500.00	5.538.00	9.77	50.300.00	8.839.00	24.770.00	
WF 40 x 192	970.00	18.00	450.00	21.00	30.00	928.00	868.00	364.00	285.73	561.600.00	11.560.00	39.30	31.960.00	1.420.00	9.37	13.200.00	2.214.00	574.00	
WF 40 x 221	982.00	18.00	450.00	27.00	30.00	928.00	868.00	419.00	326.88	690.200.00	14.060.00	40.60	41.070.00	1.625.00	9.92	15.830.00	2.821.00	882.00	
WF 40 x 244	992.00	18.00	450.00	32.00	30.00	928.00	868.00	463.00	363.11	799.800.00	16.130.00	41.60	48.870.00	2.163.00	10.30	18.050.00	3.327.00	1.268.00	
WF 40 x 268	1.000.00	19.00	451.00	36.00	30.00	928.00	868.00	509.00	398.83	897.400.00	17.950.00	42.00	55.120.00	2.444.00	10.40	20.100.00	3.757.00	1.724.00	
WF 40 x 298	1.008.00	21.00	453.00	40.00	30.00	928.00	868.00	565.00	443.47	1.005.400.00	19.950.00	42.20	62.070.00	2.740.00	10.50	22.410.00	4.220.00	2.346.00	
WF 40 x 328	1.016.00	23.00	455.00	44.00	30.00	928.00	868.00	622.00	488.12	1.115.700.00	21.960.00	42.40	69.200.00	3.042.00	10.60	24.760.00	4.691.00	3.103.00	
WF 44 x 198	1.090.00	18.00	300.00	31.00	20.00	1.028.00	988.00	374.00	294.86	693.500.00	12.720.00	43.00	14.010.00	934.00	6.12	14.780.00	1.483.00	839.00	
WF 44 x 224	1.100.00	20.00	300.00	36.00	20.00	1.028.00	988.00	425.00	333.35	801.500.00	14.570.00	43.40	16.280.00	1.085.00	6.19	16.950.00	1.728.00	1.253.00	
WF 44 x 248	1.108.00	22.00	302.00	40.00	20.00	1.028.00	988.00	471.00	369.07	897.300.00	16.200.00	43.60	18.460.00	1.223.00	6.26	18.890.00	1.954.00	1.703.00	
WF 44 x 285	1.118.00	26.00	305.00	45.00	20.00	1.028.00	988.00	545.00	424.13	1.034.900.00	18.510.00	43.60	21.440.00	1.406.00	6.27	21.770.00	2.273.00	2.527.00	
WF 44 x 230	1.090.00	18.00	400.00	31.00	20.00	1.028.00	988.00	436.00	342.28	867.400.00	15.920.00	44.60	33.120.00	1.656.00	8.71	18.060.00	2.568.00	1.037.00	
WF 44 x 262	1.100.00	20.00	400.00	36.00	20.00	1.028.00	988.00	497.00	389.90	1.005.400.00	18.280.00	45.00	36.480.00	1.924.00	8.80	20.780.00	2.988.00	1.564.00	
WF 44 x 290	1.108.00	22.00	402.00	40.00	20.00	1.028.00	988.00	551.00	431.57	1.125.600.00	20.320.00	45.20	43.410.00	2.160.00	8.87	23.160.00	3.362.00	2.130.00	
WF 44 x 335	1.118.00	26.00	405.00	45.00	20.00	1.028.00	988.00	635.00	498.54	1.294.100.00	23.150.00	45.10	49.980.00	2.468.00	8.87	26.600.00	3.870.00	3.135.00	